

# **DOKTORI ÉRTEKEZÉS**

**PETHŐ SÁNDOR**

**2008**

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR  
Földtudományi Doktori Iskola  
Földtan-Geofizika Doktori Program

**PETHÓ SÁNDOR**

Parti szűrésű víztermelés hidraulikai vizsgálata a Duna mentén  
Egy új kutatási megközelítés

Doktori értekezés

Földtudományi Doktori Iskola  
Vezető: Dr. Monostori Miklós egyetemi tanár

Földtan-Geofizika Doktori Program  
Vezető: Dr. Monostori Miklós egyetemi tanár

Témavezető: Mádlné Dr. Szőnyi Judit egyetemi docens  
Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Geológiai és Környezetfizikai Központ  
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Kutatóhely: SMARAGD-GSH Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft.

Budapest, 2008

„... [A pesti] Új téren számtalan kis szökőkút van;  
az embernek csak a pálcáját kell leszúrnia a földbe,  
s egyszerre mintegy fél láb magasnyira szökik fel utána a víz. ...  
... A Visegrád alatt áttörő [dunai] zaj érkezett meg ez órában  
s néhány perc alatt két lábnival magasabbra növelte az áradatot,  
hogy az irtóztató nyomás miatt keresztülhatolt a víz a föld alatt  
s a közvetlen téren önmagától kezdett felbugyogni. ...  
... [még azon az éjjelen] A Duna átszakasztá gátjait,  
s megrengetve a félelmes földet,  
ömlött ki a medréből a város mindkét oldalán.”

Jókai (1854)

---

## TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK .....	1
ÁBRÁK JEGYZÉKE .....	5
FÉNYKÉPEK JEGYZÉKE .....	9
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE .....	10
MELLÉKLETEK JEGYZÉKE .....	11
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE .....	13
ALKALMAZOTT FIZIKAI MENNYISÉGEK, MÉRTÉKEGYSÉGEK JEGYZÉKE .....	14
1. BEVEZETÉS .....	15
1.1 KUTATÁS TÁRGYA .....	15
1.2 PROBLÉMAFELVETÉS .....	15
1.3 KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK .....	20
1.4 KUTATÁSI ADATOK FORRÁSA, KUTATÁSI HÁTTÉR .....	21
2. PARTI SZŰRÉS ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE .....	23
2.1 PARTI SZŰRÉS FOLYAMATA, TÍPUSAI, FOGALMA ÉS JELLEMZŐI .....	23
2.2 FOLYÓVÍZHASZNÁLAT TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE, PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELÉS KIALAKULÁSA, FEJLŐDÉSE ÉS HAZAI HELYZETE .....	27
2.3 PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELŐ RENDSZEREK MŰTÁRGYAI .....	30
2.3.1 Vízkivételi műtárgyak .....	30
2.3.2 Monitoring műtárgyak .....	33
2.3.2.1 Állandó kialakítású figyelőkutak .....	34
2.3.2.2 Parton kialakított ideiglenes potenciométerek .....	34
2.3.2.3 Mederben kialakított ideiglenes mederszondák .....	35
3. PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELÉS HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA A SZAKIRODALOMBAN ...	39
3.1 VÍZTERMELŐ PARTI SZŰRÉSŰ RENDSZEREK HIDRAULIKAI ALAPÚ PROBLÉMAKÖREI .....	39
3.2 HIDRAULIKUS DEPRESSZIÓ SZÁMÍTÁSA A PART MENTI FELSZÍN KÖZELI VÍZADÓBAN .....	40
3.3 HIDRAULIKUS DEPRESSZIÓ MÉRÉSE A MEDER ALATTI FELSZÍN KÖZELI VÍZADÓBAN .....	53
3.4 PARTI SZŰRÉSSEL TERMELT VÍZ KEVEREDÉSI ARÁNYAINAK MEGHATÁROZÁSA .....	54
3.5 MEDERKÖZVETÍTŐ RÉTEG HIDRAULIKAI TULAJDONSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA .....	58
3.6 AKTÍV MEDERFELÜLET KITERJEDÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA .....	60
4. PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELÉS HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA – EGY ÚJ KUTATÁSI MEGKÖZELÍTÉS .....	61
4.1 PARTI SZŰRÉSŰ KÚT VÍZTERMELÉS HATÁSÁRA KIALAKULÓ TÁVOLHATÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA A PART MENTI RÉGIÓBAN .....	67



4.2	PARTI SZÜRÉSŰ VÍZTERMELŐ KÚT TÁVOLHATÁSÁNAK ÉS A KÚT ÁLTAL OKOZOTT .....	
	LESZÍVÁS MÉRTÉKÉNEK MEGHATÁROZÁSA A FOLYÓMEDER ALATT .....	70
4.3	HATÉKONY PARTÉL HELYZETÉNEK MEGHATÁROZÁSA.....	72
4.4	AKTÍV FOLYÓSZAKASZ HOSSZÁNAK MEGHATÁROZÁSA A HATÉKONY PARTÉLEN .....	73
4.5	FOLYÓ FELŐL SZÁRMAZÓ ÖSSZVÍZHÓZAM MEGHATÁROZÁSA .....	74
4.6	FOLYÓBÓL ÉS A FOLYÓ ALATTI VÍZADÓBÓL SZÁRMAZÓ VÍZHÓZAMOK SZÉTVÁLASZTÁSA .....	77
4.7	VÍZKEVEREDÉSI ARÁNY SZÁMÍTÁSA A TERMELŐKÚTBÓL KITERMELT VÍZBEN .....	78
4.8	LÁTSZÓLAGOS PARTÉL HELYZETÉNEK MEGHATÁROZÁSA LÁTSZÓLAGOS MEDER .....	
	ALATTI TÁVOLHATÁS ALAPJÁN.....	80
4.9	EGYEDI PARTI SZÜRÉSŰ KÚT DEPRESSZIÓS TERÉNEK SZÁMÍTÁSA A PART MENTI RÉGIÓBAN....	82
4.9.1	Bevezetés.....	82
4.9.2	Egyszerűsített és pontosított Bochever-Lapsin-féle módszer.....	85
4.10	MEDERKÖZVETÍTŐ RÉTEG FÜGGŐLEGES HIDRAULIKAI ELLENÁLLÁSA.....	91
4.11	MEDERKÖZVETÍTŐ RÉTEG VASTAGSÁGI VISZONYAI, SZIVÁRGÁSI .....	
	TÉNYEZŐJÉNEK SZÉLSŐÉRTÉKEI .....	91
4.12	AKTÍV MEDERFELÜLET KITERJEDÉSÉNEK SZÁMÍTÁSA .....	92
4.13	FELSZÍNI VÍZ HŐMÉRSÉKLETVÁLTOZÁSÁNAK HATÁSA A PARTI SZÜRÉSŰ.....	
	VÍZTERMELÉSRE – MEGJEGYZÉS A MEGKÖZELÍTÉS ALKALMAZÁSÁHOZ .....	95
4.14	KUTATÁSI MEGKÖZELÍTÉS ÖSSZEFOGLALÁSA .....	97
5.	KUTATÁSELŐKÉSZÍTÉS: A SEMATIZÁLT PARTI SZÜRÉSŰ RENDSZER.....	98
5.1	ALAPADATOK, ÁLTALÁNOS ISMERTETÉS.....	98
5.1.1	Váli-víz-torkolat.....	98
5.1.1.1	Távlati vízbázis elhelyezkedése, alapadatai .....	98
5.1.1.2	Előzetes kutatási munkák a területen.....	99
5.1.1.3	Próbatermelő kút és az észlelőhálózat elemei .....	100
5.1.1.4	Kísérleti telep és az észlelőhálózat üzemeltetése.....	100
5.1.2	Fadd-Dombori-Bogyiszló.....	101
5.1.2.1	Távlati vízbázis elhelyezkedése, alapadatai .....	101
5.1.2.2	Előzetes kutatási munkák a területen.....	102
5.1.2.3	Próbatermelő kút és az észlelőhálózat elemei .....	102
5.1.2.4	Kísérleti telep és az észlelőhálózat üzemeltetése.....	103
5.2	DOMBORZATI ÉS VÍZRAJZI VISZONYOK, A DUNA MEDERFELSZÍNÉNEK GEOMETRIÁJA.....	104
5.2.1	Váli-víz torkolat.....	104
5.2.2	Fadd-Dombori-Bogyiszló.....	105
5.2.3	Dunameder vonalvezetése és a folyó átlagos vízszint-esése a vizsgált .....	
	területek előtti szakaszon .....	105
5.3	FÖLDTANI FELÉPÍTÉS, HIDROSZTRATIGRÁFIAI TAGOLÁS.....	106
5.3.1	Váli-víz torkolat.....	106
5.3.1.1	Felhasznált adatforrások, alkalmazott kutatási módszerek.....	106
5.3.1.2	Part menti kutatási területen előforduló sekélyföldtani képződmények .....	107

5.3.1.3	Vizsgált terület sekélyföldtani-, szerkezeti-, réteggeometriai-viszonyai .....	108
5.3.1.4	Földtani közeg szivárgáshidraulikai paraméterei .....	111
5.3.1.4.1	Szivattyúteszt kiértékelés .....	111
5.3.1.4.2	Talajfizikai vizsgálatok .....	113
5.3.1.5	Hidrosztratigráfiai tagolás .....	115
5.3.1.6	Duna-meder geometriája, földtani felépítése .....	115
5.3.2	Fadd-Dombori-Bogyiszló .....	116
5.3.2.1	Felhasznált adatforrások, alkalmazott kutatási módszerek .....	117
5.3.2.2	Part menti kutatási területen előforduló sekélyföldtani képződmények .....	117
5.3.2.3	Vizsgált terület sekélyföldtani-, szerkezeti-, réteggeometriai-viszonyai .....	118
5.3.2.4	Földtani közeg szivárgáshidraulikai paraméterei .....	121
5.3.2.4.1	Szivattyúteszt kiértékelés .....	121
5.3.2.4.2	Talajfizikai vizsgálatok .....	123
5.3.2.5	Hidrosztratigráfiai tagolás .....	124
5.3.2.6	Duna-meder geometriája, földtani felépítése .....	125
5.4	CSAPADÉK ÉS BESZIVÁRGÁSI VISZONYOK .....	126
5.4.1	Váli-víz torkolat .....	126
5.4.2	Fadd-Dombori-Bogyiszló .....	127
5.5	FELSZÍN KÖZELI VÍZADÓ HIDRAULIKAI VISZONYAI .....	127
5.5.1	Váli-víz torkolat .....	128
5.5.1.1	Jellemző természetes hidraulikus potenciál-eloszlás .....	128
5.5.1.2	Vízszint-idősor elemzések a próbaüzem időintervallumában .....	129
5.5.1.3	Vízszint-idősor elemzések a teljes monitoring időszakában .....	131
5.5.2	Fadd-Dombori-Bogyiszló .....	133
5.5.2.1	Jellemző természetes hidraulikus potenciál-eloszlás .....	133
5.5.2.2	Vízszint-idősor elemzések a próbaüzem időintervallumában .....	134
5.5.2.3	Vízszint-idősor elemzések a teljes monitoring időszakában .....	137
5.6	PARTI SZÜRÉSŰ FELSZÍN KÖZELI VÍZÁRAMLÁSI TÉR SEMATIKUS LEKÉPEZÉSE – .....	
	MÓDSZERTANI PÉLDA A MINTATERÜLETEK ADATAI ALAPJÁN .....	138
6.	PARTI SZÜRÉSŰ VÍZTERMELÉS HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA DUNA .....	
	MENTI MINTATERÜLETEKEN .....	142
6.1	VÁLI-VÍZ TORKOLAT TÁVLATI VÍZBÁZIS .....	143
6.1.1	Termelőkút távolhatása a háttér irányába .....	145
6.1.2	Termelőkút meder alatti hatékony távolhatása, hatékony partél helyzete, .....	
	vízszint-leszívás mértéke a valós partélnél .....	146
6.1.3	Aktív hatékony partélszakasz hossza .....	148
6.1.4	Vízkeveredési arányok a termelőkút vízében .....	149
6.1.5	Termelőkút meder alatti látszólagos távolhatása, látszólagos partél helyzete .....	156
6.1.6	Parti szűrésű kút depressziós tere a part menti régióban .....	158
6.1.7	Mederközvetítő réteg hidraulikai paraméterei .....	169

---

6.1.8	Víztermelés hatására kialakuló aktív mederfelület kiterjedése .....	172
6.2	FADD-DOMBORI-BOGYISZLÓ TÁVLATI VÍZBÁZIS .....	174
6.2.1	Termelőkút távolhatása a háttér irányába.....	178
6.2.2	Termelőkút meder alatti látszólagos távolhatása, látszólagos partél helyzete .....	179
6.2.3	Parti szűrésű kút depressziós tere a part menti régióban.....	180
6.2.4	Mederközvetítő réteg hidraulikai paraméterei .....	183
6.3	PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELŐ TELEPEK MÉRETEZÉSE.....	183
6.3.1	Váli-víz torkolat.....	184
6.3.2	Fadd-Dombori-Bogyiszló.....	185
7.	KUTATÁSI MEGKÖZELÍTÉS ÉRTÉKELÉSE .....	186
8.	ÖSSZEFOGLALÁS, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	197
8.1	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, TÉZISEK .....	198
8.2	MUNKA JELENTŐSÉGE, EREDMÉNYEK ALKALMAZHATÓSÁGA.....	203
8.3	TOVÁBBLÉPÉSRE TETT JAVASLATOK .....	203
9.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....	205
	IRODALOMJEGYZÉK .....	206
	FOLYÓK MENTI PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELŐ RENDSZEREK ELEMEI – .....	
	MAGYARÁZÓ SZÓSZEDET .....	216
	ÖSSZEFOGLALÁS.....	220
	ABSTRACT .....	221

## ÁBRÁK JEGYZÉKE

<b>2.1 ábra</b>	Parti szűrés folyamatát előidéző természetes és mesterséges hatások elvi ábrái (saját ábra) a: megemelkedett vízszint áradási esemény, földcsuszamlás, gát hatására; b: függő meder; c: vízkedvelő növényzet; d: part menti vízszintsüllyedés bányagödör víztelenítés, víztermelés esetén	24
<b>2.2 ábra</b>	Felszín alóli víztermelés víztípusonként 1981-2000 között (Liebe 2002 nyomán)	30
<b>2.3 ábra</b>	Szifonvezetékekkel összekötött vertikális csőutak rendszere (Hunt H. et al. 2003a nyomán)	31
<b>2.4 ábra</b>	Kajlinger-féle aknakút tervrajza, Fővárosi Vízművek Zrt. Budaújlaki vízműtelepe (Fővárosi Vízművek Zrt. kézirat nyomán)	31
<b>2.5 ábra</b>	Csáposkút felépítése (Hunt, H. et al. 2003a nyomán)	32
<b>2.6 ábra</b>	Partélre merőleges, parti szűrésű kúton áthaladó vízföldtani szelvény Budaújlakon (Fővárosi Vízművek Zrt. 1931 nyomán)	36
<b>2.7 ábra</b>	Mederszonda műszaki rajza	37
<b>3.1 ábra</b>	Felszín közeli vízáadó egyszerűsített keresztzelvénye egyenes folyó típusú határfeltétel mellett, A: egyszerűsített valós rendszer szelvénye, B: helyettesítő rendszer szelvénye, C: felülnézet (Kruseman és De Ridder (1983) nyomán kiegészítve)	43
<b>3.2 ábra</b>	A Rorabaugh-féle másodlagos partél helyzetének meghatározási módszere, A: felülnézet, B: szelvény (Rorabaugh 1948, Mikelis és Klaer Jr. 1956 nyomán kiegészítve)	45
<b>3.3 ábra</b>	Mért vízszint-leszívás adatok (Chippewa folyó PS kutatási terület, USA) értékelése, becsült görbeszakasz feltüntetésével fél-logaritmikus koordináta-rendszerben (Kazmann 1948a nyomán)	51
<b>3.4 ábra</b>	Idealizált elméleti vízszint-leszívás adatok bemutatása fél-logaritmikus koordináta-rendszerben parti szűrésű és parti szűrés nélküli rendszerben (Kazmann 1948a nyomán kiegészítve)	51
<b>3.5 ábra</b>	Az aktív partszakasz hosszának a fele ( $y$ [m]) és a termelőkút partétől való távolságának ( $x_0$ [m]) hányadosa ( $y^*$ ), valamint a folyó felől érkező együttes vízhozam ( $Q_{F+M}$ [m <sup>3</sup> /d]) és az összes kitermelt vízhozam ( $Q$ [m <sup>3</sup> /d]) hányadosának ( $Q^*$ ) függvénykapcsolata természetes háttéráramlás nélküli, vagy ezzel a feltétellel közelíthető parti szűrésű víztermelő rendszerekben (Bochever F. M. et al. 1979 nyomán)	54
<b>3.6 ábra</b>	A parti szűrésű kút tápterületének lehatárolása (Juhász 1987 nyomán)	56
<b>3.7 ábra</b>	Parti szűrésű kút depressziós görbéi (Völgyesi 1993 nyomán)	57
<b>4.1 ábra</b>	Parti szűrésű víztermelési rendszer sematikus képe a termelőkúton áthaladó, partélre merőleges tengellyel meghatározott kitüntetett szelvényben (Bochever et al. 1979 és Völgyesi 1993 nyomán átdolgozva)	65
<b>4.2 ábra</b>	Parti szűrésű víztermeléssel előidézett hidraulikus depresszió alakulásának elvi ábrája a víztermeléssel érintett partoldalon (Rorabaugh 1948, Bochever et al. 1978, Kruseman és De Ridder 1983 és Völgyesi 1993 nyomán átdolgozva)	66

<b>4.3 ábra</b>	Távolság-leszívás diagramon, permanens hidraulikai állapotban mért vízszint-leszívás ( $s$ [m]) adatok értékelése a parti szűrészű termelőkút háttértávolhatásának ( $R_p$ [m]) megállapítására (Dupuit 1863, Thiem 1906 nyomán szerkesztett elvi ábra)	68
<b>4.4 ábra</b>	Távolság-leszívás diagramon, permanens hidraulikai állapotban mért vízszint-leszívás ( $s$ [m]) adatok értékelése a parti szűrészű termelőkút meder alatti <i>hatékony</i> ( $R_H$ [m]) és <i>látszólagos</i> ( $R_L$ [m]) <i>távolhatásának</i> megállapítására (Dupuit 1863, Thiem 1906 és Kazmann 1948a módszerei nyomán módosított és szerkesztett elvi ábra)	71
<b>4.5 ábra</b>	Az aktív hatékony partélszakasz meghatározása, elvi ábra (Juhász 1987 nyomán átdolgozva)	73
<b>4.6 ábra</b>	Az aktív hatékony partélszakasz hosszának a fele ( $y_H$ ) és a termelőkút hatékony partéltől való távolságának ( $x_0$ ) hányadosa ( $y^*$ ), valamint a folyó felől érkező vízhozam ( $Q_{F+M}$ ) és az összes kitermelt vízhozam ( $Q$ ) hányadosának függvénykapcsolata természetes háttéráramlás nélküli, vagy ezzel a feltétellel közelíthető parti szűrészű víztermelő rendszerekben (Bochever et al. 1979 nyomán Jelölt által módosítva)	76
<b>4.7 ábra</b>	Vízhozam-komponensek eredete sematikusan leképezett parti szűrészű rendszerben	79
<b>4.8 ábra</b>	Vízhozam-komponensek eredete hidraulikailag hatékony parti szűrészű rendszerben	79
<b>4.9 ábra</b>	Távolság-leszívás diagramon, permanens hidraulikai állapotban mért vízszint-leszívás ( $s$ [m]) adatok értékelése a parti szűrészű termelőkút meder alatti <i>látszólagos látszólagos</i> ( $R_L$ [m]) <i>távolhatásának</i> megállapítására (Dupuit 1863, Thiem 1906 és Kazmann 1948a módszerei nyomán módosított elvi ábra)	81
<b>4.10 ábra</b>	A mederellenállását kifejező $R_1$ -faktor (Bochever et al. 1978, 1979) számításához felhasznált parti szűrészű rendszerelemek (Bochever et al. 1978 és Kruseman és De Ridder 1983 nyomán átdolgozva)	88
<b>4.11 ábra</b>	Meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbség ( $dh_A$ ) meghatározása	94
<b>4.12 ábra</b>	A parti szűrészű víztermelő rendszerek hidraulikai vizsgálatának folyamata	97
<b>5.1 ábra</b>	Váli-víz torkolat távlati vízbázis kutatási területének elhelyezkedése, objektumai	99
<b>5.2 ábra</b>	Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis kutatási területének elhelyezkedése, objektumai	101
<b>5.3 ábra</b>	Váli-víz torkolat távlati vízbázis, Geofizikai mérésekkel pontosított Dunára merőleges sekélyföldtani szelvény	109
<b>5.4 ábra</b>	Váli-víz torkolat távlati vízbázis Dunával párhuzamos földtani szelvény	110
<b>5.5 ábra</b>	Szivattyúteszt kiértékelés, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, VF-3 figyelőkút, Theis-módszer	112
<b>5.6 ábra</b>	Szivattyúteszt kiértékelés, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, VF-3 figyelőkút, Cooper-Jacob-módszer	112
<b>5.7 ábra</b>	Talajfizikai vizsgálati lap, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, VF-5/0,0-0,5	112
<b>5.8 ábra</b>	Talajfizikai vizsgálati lap, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, VT-6/6	112

<b>5.9 ábra</b>	A Dunán az 1603,7 fkm-nél mért, értelmezett szeizmikus keresztszelvény (Geomega Kft. 2001a nyomán újraértékelt ábra)	116
<b>5.10 ábra</b>	Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis Dunára merőleges sekélyföldtani szelvény	119
<b>5.11 ábra</b>	Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2000. előtt mélyített fúrások adataival kiegészített, geofizikai mérésekkel pontosított Dunával párhuzamos sekélyföldtani szelvény	120
<b>5.12 ábra</b>	Szivattyúteszt kiértékelés, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, BP-3 figyelőkút, Theis-módszer	122
<b>5.13 ábra</b>	Szivattyúteszt kiértékelés, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, BP-3 figyelőkút, Cooper-Jacob-módszer	122
<b>5.14 ábra</b>	Talajfizikai vizsgálati lap, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, BF-7/1,0	122
<b>5.15 ábra</b>	Talajfizikai vizsgálati lap, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, BP-4/29	122
<b>5.16 ábra</b>	A Dunán az 1505,4 fkm-nél mért, értelmezett szeizmikus keresztszelvény (Geomega Kft. 2001c nyomán módosított ábra)	126
<b>5.17 ábra</b>	A felszín közeli vízadó év döntő hányadára jellemző, szerkesztett természetes hidraulikus potenciálfelszíne, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, 2002. június 27.	129
<b>5.18 ábra</b>	Váli-víz torkolat távlati vízbázis, VF-1, VF-2 és VF-2/A figyelőkúthármas vízszint-idősora 2002.01.15-től 2002.03.04-ig	132
<b>5.19 ábra</b>	Váli-víz torkolat távlati vízbázis, VF-1 figyelőkút vízszint-idősora a teljes monitoring időszakában 2002.03.07-től 2002.05.17-ig	132
<b>5.20 ábra</b>	A felszín közeli vízadó év döntő hányadára jellemző szerkesztett természetes hidraulikus potenciálfelszíne, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002. április 21.	133
<b>5.21 ábra</b>	Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, BF-1, BF-2 és BF-3 figyelőkúthármas vízszint-idősora 2002.03.07-től 2002.05.17-ig	135
<b>5.22 ábra</b>	Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, BF-1 figyelőkút vízszint-idősora a teljes monitoring időszakában 2002.03.07-től 2002.09.26-ig	135
<b>5.23 ábra</b>	Duna menti felszín alatti vízáramlási tér sematikus felépítése, Váli-víz torkolat távlati vízbázis	139
<b>5.24 ábra</b>	Duna menti felszín alatti vízáramlási tér sematikus felépítése, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis (Jelölt által szerkesztett ábra)	141
<b>6.1 ábra</b>	Háttértávolyhatás ( $R_p$ [m]) meghatározása Váli-víz torkolat mintaterületen, 2002. február 6. 14:00	145
<b>6.2 ábra</b>	Meder alatti hatékony ( $R_H$ [m]) és látszólagos ( $R_L$ [m]) távolyhatás meghatározása Váli-víz torkolat mintaterületen, 2002. február 6. 14:00	147
<b>6.3 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Váli-víz-torkolat távlati vízbázis, 2002.02.06. 14:00 Forchheimer-Dietz-féle módszerrel számított értékek alapján, valós partél alkalmazásával	167

<b>6.4 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Váli-víz-torkolat távlati vízbázis, 2002.02.06. 14:00 Forchheimer-Dietz-féle módszerrel számított értékek alapján, hatékony partél alkalmazásával	167
<b>6.5 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Váli-víz-torkolat távlati vízbázis, 2002.02.06. 14:00 Forchheimer-Dietz-féle módszerrel számított értékek alapján, látszólagos partél alkalmazásával	167
<b>6.6 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Váli-víz-torkolat távlati vízbázis, 2002.02.06. 14:00 Bochever-Lapsin-féle módszerrel számított értékek alapján, valós partél alkalmazásával	167
<b>6.7 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Váli-víz-torkolat távlati vízbázis, 2002.02.06. 14:00 Bochever-Lapsin-féle módszerrel számított értékek alapján, hatékony partél alkalmazásával	167
<b>6.8 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Váli-víz-torkolat távlati vízbázis, 2002.02.06. 14:00 Bochever-Lapsin-féle módszerrel számított értékek alapján, látszólagos partél alkalmazásával	167
<b>6.9 ábra</b>	Háttértávolság ( $R_p$ [m]) meghatározása Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületen, 2002. április 15. 11:00	178
<b>6.10 ábra</b>	Meder alatti látszólagos ( $R_L$ [m]) távolság meghatározása Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületen, 2002. április 15. 11:00	179
<b>6.11 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Forchheimer-Dietz-féle módszerrel számított értékek alapján, valós partél alkalmazásával	182
<b>6.12 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Bochever-Lapsin -féle módszerrel számított értékek alapján, valós partél alkalmazásával	182
<b>6.13 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Forchheimer-Dietz-féle módszerrel számított értékek alapján, látszólagos partél alkalmazásával	182
<b>6.14 ábra</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Bochever-Lapsin -féle módszerrel számított értékek alapján, látszólagos partél alkalmazásával	182
<b>6.15 ábra</b>	Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Forchheimer-Dietz-féle módszerrel számított értékek alapján, valós partél alkalmazásával	182
<b>6.16 ábra</b>	Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Bochever-Lapsin -féle módszerrel számított értékek alapján, valós partél alkalmazásával	182
<b>6.17 ábra</b>	Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Forchheimer-Dietz-féle módszerrel számított értékek alapján, látszólagos partél alkalmazásával	182
<b>6.18 ábra</b>	Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis, 2002.04.15. 11:00 Bochever-Lapsin -féle módszerrel számított értékek alapján, látszólagos partél alkalmazásával	182

---

## FÉNYKÉPEK JEGYZÉKE

<b>2.1 fénykép</b>	Alagútban elhelyezett 955 mm átmérőjű öntöttvas szifonvezeték a Fővárosi Vízművek Zrt. Dunabalparti II. vízműtelepén	31
<b>2.2 fénykép</b>	Csápozott aknakútsor a Fővárosi Vízművek Zrt. Dunabalparti II. vízműtelepén	31
<b>2.3 fénykép</b>	Törpe-csáposkút a Fővárosi Vízművek Zrt. Dunabalparti II. vízműtelepén	32
<b>2.4 fénykép</b>	Galériaág betorkollása (fénykép jobb felső részén nyíllal jelölve) a nagyteljesítményű szivattyúkkal felszerelt "C" gyűjtőaknába a Fővárosi Vízművek Zrt. Budaújlaki vízműtelepén	33
<b>2.5 fénykép</b>	Duna középvízi partéle és a próbatermelő kút között kialakított kúthármas Váli-víz-torkolat távlati vízbázison	34
<b>2.6 fénykép</b>	Parton kialakított ideiglenes potenciométerek a próbatermelő kút környezetében Váli-víz-torkolat távlati vízbázison	35
<b>2.7 fénykép</b>	Mederszondák (a képen nyíllal jelölve) Váli-víz torkolat távlati vízbázison	37
<b>5.1 fénykép</b>	Az Adonyi-öblözet síkvidéke, háttérben a lösz magasparttal	104
<b>5.2 fénykép</b>	A Váli-víz gátakkal védett medre Sinatelep térségében	104
<b>5.3 fénykép</b>	A vizsgált terület hullámos felszínű síkvidéke, Fadd-Dombori-Bogyzsló térségében	105
<b>5.4 fénykép</b>	A Duna hullámtörő kőszórással védett partja Fadd-Dombori-Bogyzsló távlati vízbázis part-szakaszán, Domborinál	105

A dolgozatban közölt fényképek a Jelölt felvételei.



## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

<b>5.1 táblázat</b>	A vizsgálatok során felhasznált, az SGSH kutatási program keretében létesített objektumok jegyzéke, Váli-víz torkolat távlati vízbázis	100
<b>5.2 táblázat</b>	A vizsgálatok során felhasznált, a 2000-ben meglévő, illetve az SGSH kutatási program keretében létesített objektumok jegyzéke, Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis	103
<b>5.3 táblázat</b>	A vízáadó hidraulikai tesztek alapján számított szivárgási tényezője (K [m/d]), Váli-víz torkolat távlati vízbázis	113
<b>5.4 táblázat</b>	A talajfizikai vizsgálatok alapján számított szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Váli-víz torkolat távlati vízbázis	114
<b>5.5 táblázat</b>	Az egyes rétegekre a szemcseméret elemzés alapján jellemző szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Váli-víz torkolat távlati vízbázis	114
<b>5.6 táblázat</b>	Váli-víz torkolat távlati vízbázis sekély-hidrosztrigráfiai egységei és azok jellemző szivárgási tényező (K [m/d]) értékei	115
<b>5.7 táblázat</b>	A vízáadó hidraulikai tesztek alapján számított szivárgási tényezője (K [m/d]), Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis	123
<b>5.8 táblázat</b>	A talajfizikai vizsgálatok alapján számított szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis	124
<b>5.9 táblázat</b>	Az egyes képződményekre a szemcseméret elemzés alapján jellemző szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis	124
<b>5.10 táblázat</b>	Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis sekély-hidrosztrigráfiai egységei és azok szivárgási tényező (K [m/d]) értékei	125
<b>6.1 táblázat</b>	Parti szűrősű rendszer mért és számított adatai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis (a rendszert leíró adatok, eredmények kiemelve szerepelnek)	144
<b>6.2 táblázat</b>	Vízkeveredési arányok a VPT-1 termelőkút vizében, 2002. február, Váli-víz torkolat távlati vízbázis	156
<b>6.3 táblázat</b>	VF-1 figyelőkút mért és hat féle módszerrel számított vízszint-adatai és azok értékelése	165
<b>6.4 táblázat</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m], Váli-víz torkolat távlati vízbázis	168
<b>6.5 táblázat</b>	A mért leszívás-értékek korrekciójához felhasznált adatok és a korrekció mértéke figyelőobjektumonként, azonos termelési állapot mellett; Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis	176
<b>6.6 táblázat</b>	Parti szűrősű rendszer mért és számított adatai, Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis (a rendszert leíró adatok, eredmények kiemelve szerepelnek)	177
<b>6.7 táblázat</b>	Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m], Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis	181
<b>6.8 táblázat</b>	Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m], Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis	181

---

## MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

1. melléklet 1. táblázat	Objektumok jegyzéke, Váli-víz torkolat távlati vízbázis (n.a.: nincs adat)
1. melléklet 2. táblázat	Próbatermelés ütemrendje, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
1. melléklet 3. táblázat	Objektumok jegyzéke, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis (n.a.: nincs adat)
1. melléklet 4. táblázat	Próbatermelés ütemrendje, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
2. melléklet 1-19. ábrák	Kútfúrások, sekélyfúrások rétegoszlopai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
2. melléklet 20-34. ábrák	Kútfúrások, sekélyfúrások rétegoszlopai, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
3. melléklet 1-15. ábrák	Hidraulikai vizsgálatokhoz felhasznált objektumok vízszint-idősora a próbatermelés ideje alatt (2002.01.15. – 2002.03.04.), Váli-víz torkolat távlati vízbázis
3. melléklet 16-31. ábrák	Monitoring hálózatba tartozó kutak vízszint-idősora a teljes monitoring időszakában (2002.01.15. – 2002.09.28.), Váli-víz torkolat távlati vízbázis
3. melléklet 32-43. ábrák	Hidraulikai vizsgálatokhoz felhasznált objektumok vízszint-idősora a próbatermelés ideje alatt (2002.03.07. – 2002.05.17.), Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
3. melléklet 44-55. ábrák	Monitoring hálózatba tartozó kutak vízszint-idősora a teljes monitoring időszakában (2002.03.07. – 2002.09.26.), Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
3. melléklet 1. táblázat	Mért vízszint-adatok Váli-víz torkolat távlati vízbázison 2002. június 27-én mért vízszint-adatai, (az adatsorban az SGSH 2002. évben használt összes monitoring objektuma szerepel)
3. melléklet 2. táblázat	Mért vízszint-adatok Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázison 2002. április 21-én (az adatsorban az SGSH 2002. évben használt összes monitoring objektuma szerepel)
4. melléklet 1. táblázat	Szivattyúeszközök vízszintadatai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis (VF-1; VF-2; VF-2/A; VF-3; VP-1)
4. melléklet 2. táblázat	Szivattyúeszközök vízszintadatai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis (VP-2; VP-3; VP-4; VP-5; VP-6)
4. melléklet 1-40. ábrák	Szivattyúeszköz kiértékelési jegyzőkönyvek, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
4. melléklet 3. táblázat	Szivattyúeszközök vízszintadatai, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis (BF-1; BF-2; BF-3; BP-1)
4. melléklet 4. táblázat	Szivattyúeszközök vízszintadatai, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis (BP-2; BP-3; BP-4)
4. melléklet 41-61. ábrák	Szivattyúeszköz kiértékelési jegyzőkönyvek, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
4. melléklet 62-113. ábrák	Talajfizikai vizsgálati lap jegyzőkönyvek, Váli-víz torkolat távlati vízbázis

---

4. melléklet 114-163. ábrák	Talajfizikai vizsgálati lap jegyzőkönyvek, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
5. melléklet 1. táblázat	Az $y^*$ és a $Q^*$ jellemző értékpárjai folyó felőli oldalról származó vízhozam számításához
5. melléklet 2. táblázat	$R_1$ értékei $x^-$ függvényében $y=0$ esetén
5. melléklet 3. táblázat	$-E(x^-)$ függvény értékei
5. melléklet 4. táblázat	A víz sűrűség és dinamikus viszkozitás értékeinek hőmérsékletfüggése a tengerszintre jellemző 101 325 Pa légköri nyomás mellett
6. melléklet 1. táblázat	A parti szűrés hidraulikájának kutatására felhasznált objektumok hidraulikai-, geodéziai-, és távolságadatai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
6. melléklet 2. táblázat	Parti szűrésű víztermelési rendszer mért és számított adatai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
6. melléklet 3-17. táblázatok	Mért és számított vízszint-leszívás értékek és a számítást előkészítő adatok összefoglaló táblázatai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
6. melléklet 1-15. ábrák	VPT-1 termelőkút távolhatása a ( $R_p$ ) a háttér irányába; értékelő diagramok, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
6. melléklet 16-30. ábrák	VPT-1 termelőkút látszólagos ( $R_L$ ) és hatékony ( $R_H$ ) távolhatása a folyómeder alatt; értékelő diagramok, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
6. melléklet 31-114. ábrák	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya; értékelő diagramok, Váli-víz torkolat távlati vízbázis
6. melléklet 18. táblázat	A parti szűrés hidraulikájának kutatására felhasznált objektumok hidraulikai-, geodéziai-, és távolságadatai, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
6. melléklet 19. táblázat	Parti szűrésű víztermelési rendszer mért és számított adatai, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
6. melléklet 20-23. táblázatok	Mért és számított vízszint-leszívás értékek és a számítást előkészítő adatok összefoglaló táblázatai, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
6. melléklet 24-27. táblázatok	Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek és a számítást előkészítő adatok összefoglaló táblázatai, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
6. melléklet 114-117. ábrák	BP-I termelőkút távolhatása a ( $R_p$ ) a háttér irányába; értékelő diagramok, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
6. melléklet 118-121. ábrák	BP-I termelőkút látszólagos ( $R_L$ ) távolhatása a folyómeder alatt; értékelő diagramok, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
6. melléklet 122-153. ábrák	Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya; értékelő diagramok, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis
7. melléklet	Igazolás

---

---

## RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ADU KÖVIZIG	Alsó-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság
FTV	Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat
KDT KÖVIZIG	Közép-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság
KHVM	Közülekedési Hírközlési és Vízügyi Minisztérium
KöViM	Közülekedési és Vízügyi Minisztérium
MÁFI	Magyar Állami Földtani Intézet
PS	Parti szűrés / Part szűrésű
SGSH	SMARAGD-GSH Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft.
USGS	United States Geological Survey (Egyesült Államok Geológiai Szolgálat)
VITUKI Kht.	Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht.
VITUKI Rt.	Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. jogelődje

## ALKALMAZOTT FIZIKAI MENNYISÉGEK, MÉRTÉKEGYSÉGEK JEGYZÉKE

Fizikai mennyiség, mértékegység				
Neve	Jele	Mértékegysége SI- mértékegység- rendszerben	Dimenziója	Átszámítása további alkalmazott mértékegységre
Hosszúság	l	m	[L]	1 km=1 fkm=1,00E+3 m
Terület	A	m <sup>2</sup>	[L <sup>2</sup> ]	1 km <sup>2</sup> =1,00E+3 m <sup>2</sup>
Térfogat	V	m <sup>3</sup>	[L <sup>3</sup> ]	1 L=1,00E-3 m <sup>3</sup>
Tömeg	m	kg	[M]	1 g =1,00E-3 kg
Idő	t	s	[T]	1 s=1,667E-2 min=1,157E-5 d
				1 min=60 s=6,944E-4 d
				1 d=8,64E+4 s=1,44E+3 min
Hőmérséklet	T	K	[K]	1 K=1 °C
				T[°C]=T[K]-273,16
Síkszög	β	rad	-	1°=π/180 rad=1,745E-2 rad
Vízhozam	Q	m <sup>3</sup> /s	[L <sup>3</sup> /T]	1 m <sup>3</sup> /s=6,00E+4 L/min=8,64E+4 m <sup>3</sup> /d
Szívárgási tényező	K	m/s	[L/T]	1 m/s=8,64E+4 m/d
Relatív magasság/szint	h	m	[L]	-
Abszolút magasság/szint	h	-	[L]	mBf: Balti-tenger átlagos 0 m szintjéhez viszonyított magasság/szint
Gradiens (hosszúságegység alatti magasság- változásra vonatkoztatva)	i (dh/dl)	m/m	[L/L]	-
Dinamikus viszkózitás	μ	kg/ms	[M/LT]	1 kg/ms=1 N*s/m <sup>2</sup> =1 Pa*s
Sűrűség	ρ	kg/m <sup>3</sup>	[M/L <sup>3</sup> ]	-
Nehézségi gyorsulás	g	m/s <sup>2</sup>	[L/T <sup>2</sup> ]	-

---

## 1. BEVEZETÉS

A dolgozat elején röviden bemutatom kutatásaim tárgyát, mellyel indokolni kívánom témaválasztásom nemzetközi és hazai aktualitását. A témakörben eddig megfogalmazott kutatási koncepciók alapján meghatározom azokat a problémákat, melyekre az ismertetett kutatási célkitűzéseim segítségével munkám során válasz kívánok adni. Végül kitérek a kutatási adatok forrására és a munkahelyi háttérre, amely inspirált a problémák felismerésében.

### 1.1 KUTATÁS TÁRGYA

A Glasgow-i Vízművek (Egyesült Királyság, Skócia) Clyde folyó mellé telepített felszín alatti víztermelő telepe példájára, 1810 óta (Ray et al. 2003) a világon gyorsan és széles körben elterjedt a felszíni vizek közvetett felszín alatti megcsapolásából részben táplálkozó parti szűrősű (PS) vízkivételek alkalmazása. Napjainkra a PS víztermelés meghatározó szerepet tölt be Európában a Duna-medence országaiban, Németország Elba és Rajna menti területein, az Amerikai Egyesült Államokban az Ohio és a Mississippi folyók mellékén (Ray et al. 2003), de Kínában (Wang et al. 2007, Wu et al. 2007) és Ázsia, Afrikai egyes vidékein, például Szíriában és Algériában is alkalmazzák (Léczfalvy 2004). A XXI. században globálisan egyre inkább fenyegető vízhiány miatt szerepe fokozatosan felértékelődik.

Hazánkban a XIX. sz. utolsó harmadától került bevezetésre a nagyüzemi víztermelésben a PS rendszertípus (Wein 1883), majd a XX. sz. második felétől részaránya a magyarországi felszín alatti víztermelésen belül meghatározóvá vált (Cséry 1993, Csernyánszki és Várszegi 1993, Kontúr 1993). A napjainkra is jellemző 2000-es évben a felszín alól kitermelt, átlagosan 2,7 millió m<sup>3</sup>/d vízmennyiség mintegy harmadát fedezte a PS víztermelés (Liebe 2002).

### 1.2 PROBLÉMAFELVETÉS

A PS víztermelés kezdeti alkalmazása óta eltelt két évszázad alatt e rendszerek működésének számos törvényszerűségére fény derült, azonban sok kérdés még ma sem tisztázott kellőképpen. A víz természetes úton lezajló hatékony biológiai, vegyi és fizikai szűrésének egyes részletei mellett a felszíni és a felszín alatti víz pontos hidraulikai kapcsolata sem ismert teljes részleteiben a folyamat során. A mindenkor

---

kutatást a PS rendszerek változatos kifejlődései, a viszonylag gyorsan változó környezeti állapotok és a mederoldali nehéz kutatási körülmények jelentősen hátráltatják.

A hidraulikai kutatás aspektusából a víztermelő PS rendszerek működésére, elemeinek leírására, és ezzel a rendszerek komplex megismerésére irányulóan az alábbi kérdéskörök fogalmazhatók meg:

- Mekkora és hogyan számítható a PS termelőkút által okozott hidraulikus depresszió a part menti felszín közeli vízadóban?
- Mekkora és hogyan mérhető, illetve számítható a PS termelőkút által okozott hidraulikus depresszió a meder alatti vízadóban, és egyúttal mekkora a meder alatti távolhatás mértéke?
- A különböző eredetű vizek jelenléte miatt milyen keveredési arányokkal számolhatunk a PS termelőkútból kitermelt víz esetében?
- Mekkora a mesterséges és/vagy természetes hatásra a mederfenéken kialakuló rossz vízvezetőképességű réteg hidraulikus ellenállása és szivárgási tényezője?
- Mekkora a PS víztermelés hatására a folyóból történő közvetlen felszíni vízbeszivárgást a felszín alá közvetítő mederfelület kiterjedése?

Áttekintve a PS víztermelő rendszerek feldolgozásához korábban kifejlesztett mérnök-hidrogeológiai módszereket, ezek csak a rendszervizsgálat egy-egy részterületéhez nyújtanak támpontot, gyakran akkor sem kielégítően pontos eredménnyel. A fő kérdéskörök és megoldások problémafelvetési céllal, vázlatosan az alábbiak szerint ismertethetők.<sup>1</sup>

- Forchheimer (1935) és Dietz (1943) kidolgozták, majd Rorabaugh (1951), Mikelis et al. (1956), Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) pontosították a felszín közeli vízadóban ún. forrás-nyelő módszeren alapuló part menti vízszint-leszívás számítás felszíni víztestek (folyók) környezetében. A fedett víztartók permanens deprimált hidraulikai állapotát leíró Dupuit-Thiem-féle megoldáson (Dupuit 1863, Thiem 1906) nyugvó

---

<sup>1</sup> A továbbiakban *dőlt* betűvel szereplő kifejezések értelmezésére kidolgoztam egy szószeretet, amely a „Folyók menti parti szűrési víztermelő rendszerek elemei – magyarázó szószeret”-ben a dolgozat végén található.

---

módszer lényege, hogy a permanens hidraulikai állapotú PS rendszerben a folyó egy látszólagos kúttal kerül figyelembe vételre, melynek helyzete a valós termelőkút egy adott szimmetria-tengelyre való tükrözésével állapítható meg. A látszólagos kút hozama a vizsgált termelőkúttal azonos, de ellentétes előjelű, azaz betáplál a rendszerbe, szimulálva ezzel a folyó hatását.

Mint látható, a módszer alkalmazásakor lényeges kérdés a szimmetria-tengely helyzete, melyet véleményem szerint a fenti szerzők nem határoztak meg kellő pontossággal. Forchheimer (1935) és Dietz (1943) a *valós partélt* tekinti szimmetria-tengelynek. Mivel a természetben nem fordul elő *tökéletes folyó*, azaz a folyók mederfala nem függőleges, a mederfenék általában nem ér le a felszín közeli vízádó feküfelszínéig, továbbá a felszíni víztestből a mederanyagba történő vízbeáramlás sohasem ellenállásmentes, az ezzel a tengellyel kidolgozott számítások nem szolgáltathatnak pontos eredményt.

Rorabaugh (1951), majd Mikelis et al. (1956) felismerte, hogy szimmetria-tengelyként egy a *valós partéltől* eltérő helyzetű *másodlagos partélt* szükséges alkalmazni, mely a forrás-nyelő módszer trigonometriai alapú átdolgozásával kerülhet kifejezésre. Ez a megoldás azonban csak a folyók tökéletlenségéből adódó, fentebb felsorolt geometriai hatásokat küszöböli ki, a mederellenállás hatását nem, így továbbra sem szolgáltathat pontos eredményt.

Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) számításaiknál részletes matematikai háttérrel figyelembe vették a mederellenállás hatását, azonban a kérdéses másodlagos szimmetria-tengelyre olyan formulát határoztak meg, mely csak a mederfenéken kialakuló alacsony vízvezető képességű réteg és a meder alatti vízádó paramétereitől függ, és nem veszi figyelembe az aktuális folyóvízállás, valamint az aktuális termelés hatását. A módszerük szerint bármilyen termelési és környezeti körülmény esetén állandó helyzettel meghatározott másodlagos tengely, a fenti okok miatt szintén nem adhat pontos eredményt a számítások során.

- Álláspontom alapján a kérdéses szimmetria-tengely meghatározásával összefüggő feladat a PS termelőkút által keltett meder alatti hidraulikai depresszió mértékének és a kút meder alatti távolhatásának meghatározása.



---

E hidraulikai jellemzők meghatározására egyrészt mederben végzett mérésekkel történtek kísérletek (Fővárosi Vízművek Zrt. 1918, 1931, Rorabaugh 1951, USGS (Anonym, 2000), melyek vagy nem adnak kielégítő választ a kérdéses problémákra (pl. hiányzik a pontos meder alatti távolhatás meghatározása (Fővárosi Vízművek Zrt. 1918, 1931)), vagy az alkalmazott adatértékelési eljárások közlésének hiányában eredményeik nem értelmezhetők, nem reprodukálhatók (Rorabaugh 1951, USGS Anonym, 2000).

Part menti objektumok hidraulikai adatai alapján is történtek számítások, melyek véleményem szerint vagy hibás elméleti levezetésen alapulnak (Rózsa 2000), vagy – megítélésem szerint – helyes eljárással, Dupuit-Thiem-féle távolság leszívás elemzéssel (Dupuit 1863, Thiem 1906) kerültek kiértékelésre, de – meder-mérőobjektumok hiányában – a meder alatti távolhatásra vonatkozó végeredményt csak becsléssel közelítve adják meg (Kazmann 1948).

- Következő kérdéskör a PS termelőkútból kitermelt különböző eredetű vizek, azaz a folyó felől és a háttér felől származó vizek keveredési arányainak hidraulikai adatokon nyugvó analitikus meghatározása. Bochever és társai (1979) háttéráramlás nélkül közelíthető rendszerre is vizsgálták a folyó oldal felől és a háttér felől a termelőkúthoz érkező vizek keveredési viszonyait. A különböző helyszíneken végzett nagyszámú méréseik alapján, egy tapasztalati görbén nyugvó számítási módszert dolgoztak ki, melynek elemei a termelt összvízhozam (mérhető), a folyóoldal felől származó vízhozam (kérdés tárgya), valamint folyó felőli vízbetáplálásban résztvevő aktív partélszakasz hossza és termelőkúttól való távolsága. Mint az előzőekben, más kérdéskör esetén láttuk a PS rendszerek vizsgálatakor a partél helyzete külön elemzés tárgyát kell hogy képezze, mivel a helyszínen rögzített *valós partél* – rendszerhidraulikai okok miatt – esetenként nem alkalmas az adott vizsgálat levezetésére. Mivel az utóbbi két lényeges vizsgálati elem (partél helyzete, aktív partélszakasz hossza) egzakt meghatározására, továbbá a tapasztalati görbe matematikai kifejezésére a szerzők nem tértek ki, így módszerük az eredeti irodalmi közlés alapján csak becslési eljárásként használható.

- 
- Völgyesi (1993) félkvantitatív módszerrel kifejezi a mederkapcsolati hatásfokot, mely utal a közvetlenül a folyóból származó vízhozam arányára a folyóoldalról a PS termelőkúthoz érkező vízhozamon belül. A mederkapcsolati hatásfok számításához ismerni szükséges a folyóhatás nélküli *Thiem-féle leszívási görbe* (Dupuit 1863, Thiem 1906) és a víztermelés hatására kialakuló *valós leszívási görbe* pontos helyzetét a *valós parténél*. Az előbbi a termelőkúttól a háttér irányába eső figyelőobjektumok alapján meghatározható, míg utóbbit Völgyesi (1993) Bochever et al. (1978, 1979) munkái nyomán kifejlesztett számítógépes algoritmusok segítségével kívánja megadni. Mint fentebb tárgyaltam, véleményem szerint már az eredeti módszer is pontatlanságokat rejt magában (lásd: nem megfelelő módon meghatározott *másodlagos partét*), így pontosított vizsgálati eljárás hiányában, a Völgyesi (1993) által említett, nem reprodukálható algoritmussal nyert vízszint-leszívás és mederkapcsolati hatásfok eredmények csak becslésként értékelhetők.

Mivel Völgyesi (1993) a folyó felőli összhozam megállapítására nem tér ki, ezért a mederkapcsolati hatásfokkal megállapított folyóvíz eredetű vízhozamkomponens össztermeléshez viszonyított értéke pusztán e módszer alkalmazásával, ismeretlen marad.

- A rendszer megismerése szempontjából további felmerülő kérdés a mederfenéken elhelyezkedő rossz vízvezetőképességű réteg szivárgáshidraulikai paramétereinek meghatározása. Ezeket Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) a PS rendszer hidrogeológiai felépítése előzetes ismeretének hiányában összetett analitikai módszerrel próbálják meghatározni. A számítás nagy bemenő paraméterigénye és bonyolultsága miatt a szerzők táblázatos formában, diszkrét bemenő faktorokat közölnek. A kifejezés összetett tényezőként tartalmazza a Hantush (1956, 1960) által félig áteresztő rétegekre meghatározott hidraulikai ellenállást reciprok formában, melyből az adott közegre vonatkozó szivárgási tényező értékek előzetes rendszerismeret, azaz a vizsgált rétegek vastagságviszonyainak ismerete nélkül véleményem szerint nem, vagy csak nagyfokú bizonytalansággal fejezhetők ki.
- A PS vízbázisok folyó felőli védelme érdekében elengedhetetlen a felszíni víztestből történő vízbeszivárgást a felszín alá közvetítő aktív mederfelület

---

kiterjedésének ismerete. Ennek meghatározására mederben történt mérések alapján a USGS (Anonym, 2000) tett kísérletet, melynek hiányosságait fentebb, a meder alatti távolhatás problémakörénél ismertettem. Egyéb, terepi mérési adatokat felhasználó analitikus elemzésen nyugvó számítások a nemzetközi és hazai szakirodalomban nem kerültek közlésre e kérdéskörrel kapcsolatban.

A fent ismertetettek alapján, a PS rendszerek hidraulikai témájú fő kérdésköreinek megválaszolását célzó önálló vizsgálati módszereket nem tartom kielégítően pontosnak és/vagy egyszerűen használhatónak, bár alapelgondolásait tekintve alkalmasak a PS rendszerek jellemzésére.

További probléma, hogy az önálló rész módszerek nem építenek egymás eredményeire és így egy adott PS rendszer ezekkel, jelenlegi formájukban egységében nem vizsgálható. Holott a fő cél a rendszer működésének átláthatósága volna, mely alapján a benne lezajló részfolyamatok értelmezhetőkké válnak.

### 1.3 KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A fentiek tükrében, azaz a PS víztermelés nemzetközi és hazai jelentősége, ugyanakkor a megismerését célzó vizsgálati elemek hiányosságai okán célozom egy új, egységes PS hidraulikai kutatási megközelítés kidolgozása, a szakirodalomban közölt vizsgálati módszerek egyszerűsítésével, pontosításával, és új kutatási módszerek bevezetése alapján történő integrálásával az alábbiak szerint:

- A parton és közvetlenül a mederben végzett hidraulikai mérések eredményei alapján választ kívánok adni a PS víztermelő kút távolhatására mind a háttér, mind a meder alatt, mely utóbbi ezidáig csak közvetett módon és bizonytalanul ítéltető becslési eljárások révén volt közelíthető.
- A közvetlenül a mederben végzett mérésekkel meg kívánom határozni a víztermelés hatására a partélnél kialakuló leszívás nagyságát, valamint az *aktív mederfelület* kiterjedését.
- Igazolni kívánom, hogy előzetes hidrogeológiai kutatási eredményekre támaszkodva a PS rendszerek vizsgálata bizonyos fokú egyszerűsítések mellett elvégezhető és hogy a rendszer transzformációja során a *valós partél* mellett további két szimmetria-tengely meghatározása szükséges, meder oldali és a part menti régióra végzendő hidraulikai számítások levezetéséhez.

---

Továbbá be kívánom mutatni az ún. *hatékony és látszólagos partéltípusok*, mint új, a felhasználandó szimmetria-tengelyek meghatározásának módszerét.

- Hidraulikai számításokkal választ kívánok adni a kitermelt víz keveredési arányaira, a felszíni víztestből és a felszín alatti vízből történő vízhozzájárlás mértékére.
- Be kívánom mutatni, hogy a felszín közeli vízádot megcsapoló PS kút víztermelése nyomán a part menti régióra kiterjedő hidraulikus depresszió adott pontra vonatkozó mértéke milyen számítási módszerrel adható meg a PS kutatás szempontját kielégítő legnagyobb pontossággal.
- Meg kívánom határozni a mederfenéken a természetes folyamatok, vagy a PS víztermelés hatására kialakuló ún. *mederközzvetítő réteg* szivárgáshidraulikai paramétereit.
- Az elért eredmények alapján be kívánom mutatni a PS vízádot tartós üzemben, előírányzott vízmennyiséggel megcsapoló csőkutat, -kútsorok kialakítási lehetőségét.

A doktori kutatás időbeli keretei és terjedelmi okok miatt azonban nem célom a PS termelőkutakba jutó felszíni eredetű víz fizikai, vegyi és biológiai tisztulási folyamatainak a dolgozatban történő elemzése, bár ezek a szintén a PS problémakörének egy-egy fontos szegmensét jelentik.

#### **1.4 KUTATÁSI ADATOK FORRÁSA, KUTATÁSI HÁTTÉR**

A dolgozatban a PS víztermelő rendszerek hidraulikai vizsgálatára kidolgozandó egységes kutatási megközelítést két mintaterületen teszteltem. A két kutatási helyszín a Duna jobb partján, Budapest és a déli országhatár között található, Váli-víz torkolat és Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati (stratégiai) *vízbázisok* folyampart-szakaszai. A két távlati *vízbázis* feltáró munkálatait (diagnosztikáját) a 127/1997 (VII. 18.) Kormányrendelettel szabályozott, államilag koordinált „Sérülékeny földtani környezetben lévő ivóvízbázisok biztonságba helyezése” című célprogram keretében, a Közép-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (KDT KÖVIZIG) megbízásából a SGSH, illetve a SGSH és a VITUKI Innosystem Kft. konzorciuma végezte el 2000-2002 folyamán.

---

A munkálatokban a SMARAGD-GSH Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft. (SGSH) munkatársaként, szakmai programvezetőként vettem részt, és a programok átfogó irányítása mellett 90 %-ban én végeztem a terepi adatgyűjtést, mintavételezést, majd teljes egészében az adatok földtani, hidraulikai és hidrogeológiai kiértékelését.

A kutatási témakörrel kapcsolatos, fokozatosan bővülő ismereteim azonban szükségessé tették az említett helyszínekről rendelkezésemre álló archív, illetve főként a diagnosztikai munkálatok során nyert, földtani és hidraulikai mérési alapadatok a dolgozatban történő teljes mértékű újrafeldolgozását, átértékelését.

A dolgozatban közölt, a PS hidraulikai kutatását előkészítő mintaterületi elemzések a vízbázisvédelmi munkák alatt irányításommal és közreműködéssel született alapadatok felhasználásával készültek, és – az adott pontokon szereplő hivatkozások kivételével – saját szellemi termékek. A fentieket és a kutatási alapadatok engedélyezett felhasználását kutatóhelyem, az SGSH nyilatkozata **(7. melléklet)**.

---

## 2. PARTI SZŰRÉS ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE

### 2.1 PARTI SZŰRÉS FOLYAMATA, TÍPUSAI, FOGALMA ÉS JELLEMZŐI

A parti szűrés (PS) folyamata során a felszíni víztestből, annak törmelékes mederanyagán keresztül felszíni víz áramlik a part menti régiók porózus felszín közeli víztartóiba, ahol a felszín alatti vízzel keveredve annak részévé válik. A felszíni víz felszín alá történő beáramlását természetes és mesterséges hatások egyaránt előidézhetik, melyek nyomán a felszíni és a felszín alatti víz között hidraulikus potenciálkülönbség alakul ki, beindítva a PS mechanizmusát (Fetter 1994, Ray et al. 2003). A szűrési folyamat alatt a felszíni eredetű víz biológiailag, vegyileg és mechanikailag általában jelentős mértékben megtisztul.

A PS folyamatát előidéző természetes hatások a következők lehetnek (Fetter 1994 és Ray et al. 2003 nyomán) **(2.1 ábra)**:

- áradási események;
- függő medrek
  - arid klímán, mély talajvíztükör mellett;
  - folyók felső szakaszán;
  - folyók hordalékkúpján;
- mély gyökérzetű part menti vízkedvelő növényzet;
- földrengést követő földcsuszamlás nyomán létrejövő duzzasztás.

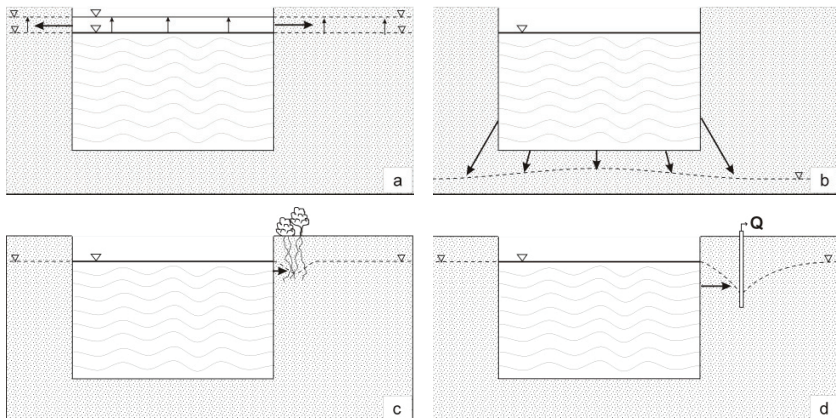
A mesterséges hatások az alábbiakban foglalhatók össze (Fetter 1994 és Ray et al. 2003) **(2.1 ábra)**:

- gátakkal történő duzzasztás;
- part menti nyersanyagbányászattal kapcsolatos víztelenítés;
- part menti felszín alatti víztermelés, azaz PS víztermelés.

A fenti hatások valamelyikére kialakuló PS során a felszín alá belépő felszíni víz mennyiségét és a folyamat sebességét az alábbi tényezők befolyásolják (Fetter 1994 és Ray et al. 2003 nyomán):

- vízzel telt mederszélesség;
- érintett mederszakasz hossza;
- mederanyag szivárgáshidraulikai tulajdonsága;

- part menti felszín közeli vízadó szivárgáshidraulikai tulajdonsága;
- finomszemcsés közvetítő mederüledék felhalmozódása; mederközvetítő réteg kialakulása;
- mederfenéken képződő algaszőnyeg területe, vastagsága;
- vízben nem oldódó, kiülepedő szennyezőanyagok mennyisége;
- mederüledék eróziója;
- felszín közeli vízadó vízszintje;
- felszíni víz vízszintje és esése;
- felszíni víz hőmérséklete, sűrűsége, dinamikus viszkozitása;
- felszíni víz sebessége;
- víztermelés nagysága.



**2.1 ábra** Parti szűrés folyamatát előidéző természetes és mesterséges hatások elvi ábrái (saját ábra)  
a: megemelkedett vízszint áradási esemény, földcsuszamlás, gát hatására; b: függő meder;  
c: vízkedvelő növényzet; d: part menti vízszintsüllyedés bányagödör víztelenítés, víztermelés esetén

A természetes tényezőkhöz kapcsolódó PS mechanizmusa egy adott, víztermeléssel igénybevett part menti területen nagyságrendekkel kevesebb mennyiségű vizet juttat a felszín alatti vízrendszerbe, mint a mesterségesen, ezen belül is a víztermeléssel előidézett PS.

A parti szűrés folyamatát a fenti összefoglalás alapján az alábbiak szerint határozom meg:

---

*Álló, vagy folyó vizek partjai mentén, a felszíni és a felszín alatti víz között természetes úton létrejövő, és/vagy mesterséges módon előidézett hidraulikus potenciálkülönbség hatásra kialakuló felszín alá irányuló vízforgalom, melynek nyomán a felszíni víz a mederfenék szűrő rétegén keresztül szivárogva jut be a meder alatti vízadóba és abban, a partoldal felé történő áramlással a felszín alatti vízrendszer részévé válik.*

A dolgozat tárgyát képező víztermeléssel előidézett parti szűrés fogalmát a Vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási művek védelméről szóló 123/1997. (VII. 18.) Kormányrendelet a következőképpen határozza meg: „A parti szűrésű vízbázis olyan felszíni víz közelében lévő felszín alatti vízbázis, melyben a vízkivételi művek által termelt víz utánpótlódása 50%-ot meghaladó mértékben, azaz többségében a felszíni víztestből történő beszivárgásból származik”.

A továbbiakban a PS rendszerek speciális, de az ivóvízellátás szempontjából jelentős szerepet játszó típusával, a folyók menti, felszín közeli vízadókban mesterségesen előidézett PS rendszerekkel foglalkozom.

Folyó menti felszín közeli vízadón a felszíntől számított első vízadó szint értendő, amelyet

- vízellátási célú vízkivételre alkalmas rétegösszlet jellemez;
- általában folyóvízi szedimentáció révén ülepedett durvatörmelék sorozat épít fel;
- alulról 10-30 m-es, ritkábban legfeljebb 50 m-es mélységben vastag vízrekesztő fekvő határol el a mélyebben fekvő vízadó rétegektől;
- felülről 0-10 m, kivételesen legfeljebb 20 m vastag fedőréteg borít (Aujeszky 1985).

Aukeszky (1985) nyomán, az általa figyelembe vett tényezőket kiegészítve, a folyók menti felszín közeli vízadók természetes vízforgalmában szerepet játszó tényezők, melyek súlya évszakos változékonyságuk miatt időszakonként eltérő lehet:

- bevételi oldalon:
  - a közvetlen csapadék eredetű beszivárgás;
  - a folyótól távolabbi területről, az ún. háttér felől a vízadóban a part felé történő felszín alatti vízáramlás (kiegészítés);



- 
- a fekűn keresztül történő feláramlás;
  - a vízáadó mederanyag távolabbi részeiről a part felé történő vízáramlás (kiegészítés);
  - a közvetlenül a folyóból történő vízbelépés;
  - kiadási oldalon:
    - a felszín alatti víz párolgásából származó vízkilépés;
    - a háttér felé történő vízeláramlás (kiegészítés);
    - a fekűn át a mélyebb rétegek felé történő víztovábbítás és
    - a folyómederbe irányuló vízkilépés.

A fenti tényezők hatására a természetes rendszerek vízháztartásában a természetben előforduló tranziens állapotok közötti rövidebb-hosszabb időszakokban dinamikus egyensúlyi állapotok alakulnak ki.

Vízki vétel hatására viszont a PS felszín közeli vízáadó egyensúlyi vízforgalma megváltozik. Ez a folyamat a fenti tényezők mindegyikét érintheti, de a valóságban az egyes komponensek jelentősen eltérő súllyal szerepelnek. Ezért a változás gyakran a fenti, különböző súllyal szereplő komponenseknek csak valamilyen kombinációjában hat a rendszer egészére. A víztermelés időszakában tehát egy mesterségesen kialakított és fenntartott víz egyensúly jön létre, ahol a természetes komponenseket tekintve a vízmérleg a bevételi oldal irányába billen. A szivattyúzás nyomán kialakuló depresszió miatt a felszín alatti vizeket megcsapoló folyók esetén a folyamat megfordul, az azokat tápláló folyók esetén felerősödik, így többlet vízbelépéssel kell számolni a felszíni víztestből. Ezzel egyidejűleg a talajvíz-felszín lesüllyed, ami csökkenti a felszín alatti víz párolgása nyomán fellépő veszteséget (Major 1979), sőt a PS víztermelés oldaláról nézve kedvező esetben lokális effektív beszivárgást eredményez. Rossz vízvezetőképességű fekű, azaz ha a fekű nem értékelhető vízrekesztőnek az adott rendszerben esetén a mélyebb helyzetű vízáadókból történő jelentősebb mennyiségű vízáradódás is jelentkezhet (Aujeszký 1985).

A PS vízki vétel tehát éppen saját magát fenntartva, a rendszer vízvesztéseinek csökkenése (csökkenő párolgási veszteség), illetve vízbevételeinek növekedése (növekvő folyóoldali beszivárgás) terhére működhet, ami ésszerű keretek között folytatva gyakorlatilag készletfogyás nélküli víztermelést biztosít (Aujeszký 1985).

---

## 2.2 FOLYÓVÍZHASZNÁLAT TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE, PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELÉS KIALAKULÁSA, FEJLŐDÉSE ÉS HAZAI HELYZETE

A történelmi időkben a tisztának minősíthető, mindig friss vizet szolgáltató kisvízfolyások és nagy folyók, valamint tavak és források vizeit már évezredek óta használta az emberiség ivóvíz, öntözés és az állatok itatása céljából. Az emberi társadalom magasabb fokú szerveződése, nagy folyamatok mentén történő megtelepedése kapcsán egyre több vízre lett szüksége, többre, mint amennyit természetes módon nyerhetett. Az évszazakonként eltérő hordalékot szállító folyók szeszélyét elkerülendő i.e. 3000 körül Egyiptomban és Mezopotámiában ezért csatorna- és víztároló rendszereket kezdtek kiépíteni, hogy az év minden szakában a megfelelő mennyiségű és minőségű ivó-, öntözési- és egyéb gazdasági célú vizigényt biztosítani tudják. Ez természetesen nem jelentett parti szűrésű víztermelést, de már ekkor kialakult a vízfolyásokból történő tudatos, műszaki megoldásokkal megvalósított vízkivétel (Nílus menti vízátemelő daruk Egyiptomban (Paturi et al. 1991), ősi vízművek, kanatok Perzsiában) (Boldizsár 1974).

A késő ókortól a kora újkorig a felszíni vizek közvetlen felhasználásának jelentősége és módja lényegében alig változott.

A XVIII-XIX. századra az európai nagyvárosokban fokozatosan koncentrálódó népesség vizigénye mind jobban megnövekedett, de a fokozódó szennyezés miatt a városok területén és környezetében a felszíni és a sekély mélységű felszín alatti vizek emberi fogyasztásra alkalmatlanná váltak (Wein 1883). Ezek az indokok az addigiaktól eltérő, jó minőségű vizet nagy mennyiségben szolgáltató víznyerési technika bevezetését tették szükségessé.

Az első modernkori parti szűrésű (PS) vízkivételi rendszert az Egyesült Királysági Glasgow-i Vízművek vállalata telepítette 1810-ben a Clyde folyó mentén, ami lényegében egy hosszú, felszín alá süllyesztett perforált vízgyűjtő cső (dréncső) volt (Ray et al. 2003). Ezt a módszert a Britek hamarosan további vízművek esetén is alkalmazták, például Nottingham, Perth, Derby és Newark városok ivóvízellátására. A XIX. század közepére a PS víztermelés hivatalosan is elfogadottá vált Európában. A kontinensen az első nagyobb PS víztermelő telepeket Németországban a Rajna és az Elba mentén létesítették Düsseldorf, illetve Hamburg környékén, majd tovább folyamatosan a két említett nagy folyó mentén. Nem sokkal ezután a Duna menti

---

országok nagyvárosaiban, Bécsben, Pozsonyban, Budapesten és Belgrádban is beindult a PS ivóvíztermelés (Ray et al. 2003).

A XX. században aztán a PS víztermelés világszerte széleskörben elterjedt. Megjelent Európa távolabbi vidékén, a volt Szovjetunió területén, és az 1930-as évektől az Amerikai Egyesült Államokban (Ray et al. 2003, Hunt 2003). Később, a jelentős népességű Kínában (Wang et al. 2007, Wu et al. 2007), és Ázsia, Afrikai száraz vidékein, például Szíriában és Algériában is elterjedt (Léczfalvy 2004).

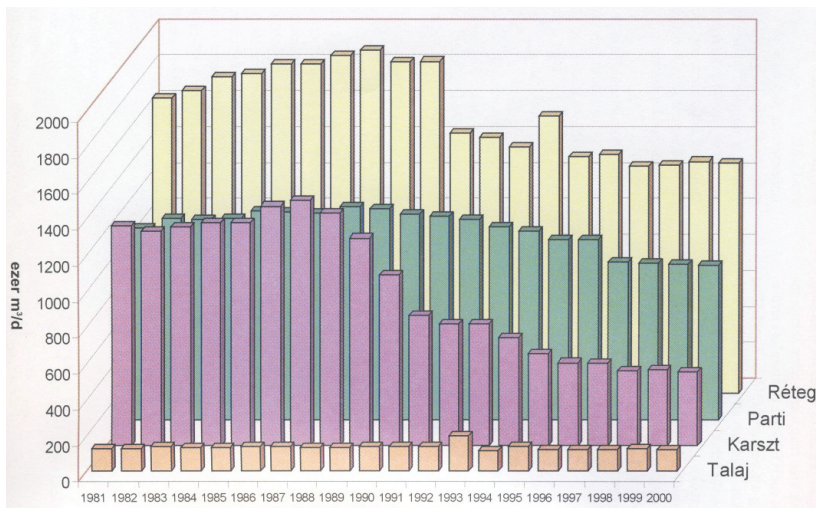
Hazánkban a XIX. sz. harmadik harmadától a lélekszámában rohamosan növekvő főváros vízellátására kiépült városi és város környéki PS víztermelő telepek töltötték be az úttörő szerepet, mely folyamat röviden az alábbiakban foglalható össze.

- 1868-1872: Ideiglenes pesti vízmű üzembe helyezésével megkezdődik az intézményes vízellátás Pest-Buda területén. A vízműhöz 4 db aknakút tartozott a mai parlament helyén, a szivattyúház a mai Kossuth téren épült (Wein 1883, Cséry 1993, Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).
- 1878-1887: A pesti ideiglenes vízmű két, fél kilométert meghaladó galériaszakasszal bővült, először a Margit-hídig, majd a mai Szent István parkig (Wein 1883, Cséry 1993, Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).
- 1881-1882: A budai hegyvidék ellátására felépült a Budaújlaki Vízmű, 200 m-es galériájával, szivattyúházával, víztároló medencéivel, csőhálózatával. A vízmű aknakutas, csápozott aknakutas és csáposkutas bővítése ezután több évtizeden át szakaszosan folytatódott, később hozzákapcsolva a Margitsziget Ny-i oldalán létesített kutakat is (Cséry 1993, Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).
- 1893-1904: Északon, a Duna bal partján és a Szentendrei-szigeten kiépült Európa akkori egyik legkorszerűbb vízműve, a parti szűrésre alapozott Káposztásmegyeri, Dunakeszi, Szentendrei-sziget-dél vízműegyüttes, kútjaival, gépházaival, csőhálózatával (Cséry 1993, Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).
- 1931-1942: A Szentendrei-szigeten, Horányban és Szigetmonostoron PS kutak és kiszolgáló gépházak épültek (Cséry 1993, Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).

- 1958-1962: Megépült a pócsmegyeri PS vízmű a Szentendrei-szigeten (Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).
- 1968-1985: További PS telepek épültek a Szentendrei-szigeten, Surány, Tótfalu, Tahi, Kisoroszi térségében (Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).
- 1972-1991: Csáposkutak épültek a Csepel-szigeten Szigetszentmiklóson, Tökölön, Halásztelken, Szigetújfaluban és Ráckeven (Cséry 1993, Csernyánszky és Várszegi 1993, Kontúr 1993, Fővárosi Vzművek Zrt. 2008).

Az első Budapest környéki PS rendszerek létesítését követően, a későbbiek kialakításával párhuzamosan az országban számos helyszínen létesültek hasonló telepek. Napjainkban a további Duna menti jelentősebb PS víztermelő telepek és üzemeltetők a következők: a váci székhelyű Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. (pl.: Leányfalu, Nagymaros, Vác, Göd, Dunakeszi), a tatabányai központú Észak-dunántúli Vízmű Zrt. (Tát, Esztergom), a Komáromi Regionális Vízmű Zrt. (Komárom) a győri Pannon-Víz Zrt. és a mosonmagyaróvári Aqua Szolgáltató Kft. (Szigetköz területe), továbbá a százhalmattai központú Szákom Kft. és az ercsi székhelyű Török-kút Kft. (Ercsi). A fentiek mellett Észak-Magyarországon a Tisza mentén is működik PS vízbázis (Tiszadob, Tiszabercel), továbbá délen a Szegedi Vízmű Zrt. (Szeged) is üzemeltet PS vízbázisokat. Néhány kisebb folyónk, például a Hernád (Gesztye-Hernádnémeti), és a Rába mellékén (Körmend, Vasvár, Vág-Mérgecs) is megtalálhatók a PS ivóvíztermelő telepek (Léczfalvy 2004, Vízműlap 2008 és a Jelölt személyes adatgyűjtése nyomán).

A PS vízkivétel fontosságát bizonyítja, hogy az 1990. évet követő vízfogyasztási szokások átrendeződése után a Magyarországon felszín alól kitermelt vízmennyiség (1995: 2 961 ezer m<sup>3</sup>/d; 1997: 2 713 ezer m<sup>3</sup>/d; 2000: 2 700 ezer m<sup>3</sup>/d) mintegy egyharmadát (1995: 996 ezer m<sup>3</sup>/d; 1997: 874 ezer m<sup>3</sup>/d; 830 ezer m<sup>3</sup>/d) ilyen jellegű *vízbázisok* biztosítják (VITUKI Rt. 1995, 1997, Liebe 2002) **(2.2 ábra)**.



**2.2 ábra** Felszín alóli víztermelés víztípusonként 1981-2000 között (Liebe 2002 nyomán)

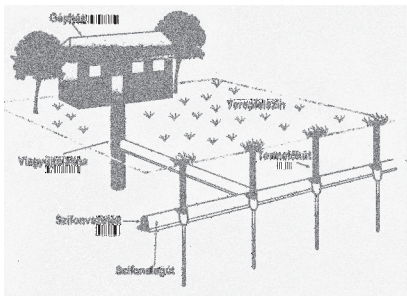
## 2.3 PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELŐ RENDSZEREK MŰTÁRGYAI

### 2.3.1 Vízkivételi műtárgyak

Parti szűrésű vízkivételi műtárgyak segítségével kerül létrehozásra az a felszín alatti hidraulikus depressziós tér, melynek hatására az érintett felszíni vízből felszín alá történő vízáramlás indukálódik. A PS vízkivételi műtárgyak összefoglalóan az alábbiakban ismertethetők.

- Csőkút (Hubbs 2003, Hunt et al. 2003a, Hunt et al. 2003b, Hunt 2003, Schubert 2003, Léczfalvy 2004)
  - Függőleges: folyóparton mélyített vertikális kút a folyóval kommunikáló vízadóban szűrőzött szakasszal.
  - Ferde: folyóparton a folyómeder alá mélyített ferde kút a meder alatt szűrőzött szakasszal.

A csőkutakat az adott rendszer sajátosságainak megfelelően egyedi szivattyúval, vagy közösen, szifonrendszer révén termeltetik (2.3 ábra, 2.1 fénykép).



**2.3 ábra** Szifonvezetékkel összekötött vertikális csőkutak rendszere (Hunt H. et al. 2003a nyomán)

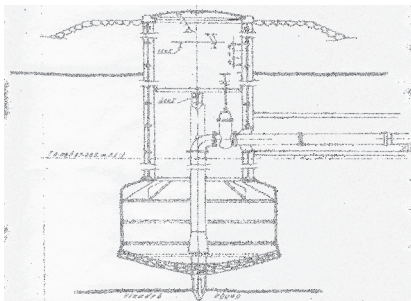


**2.1 fénykép** Alagútban elhelyezett 955 mm átmérőjű öntöttvas szifonvezeték a Fővárosi Vízművek Zrt. Dunabalparti II. vízműtelepén

- Aknakút

- Normál: alsó részén perforált kútpalásttal sülyesztett nagy, általában 5 m átmérőjű, markolással, vagy régebben hagyományos technikával ásott kút. A kútpalást sülyedéseinek elkerülése miatt hazánkban gyakori a Kajlinger-féle harang formájú kútkialakítás is (Hubbs 2003, Hunt et al. 2003a, Hunt et al. 2003b, Hunt 2003, Schubert 2003, Léczfalvy 2004, Fővárosi Vízművek Zrt. kézirat) (**2.4 ábra**).
- Csápozott: már meglévő normál aknakút utólagos csápozásával, általában 5 db, egyenlő közül csáppal kiképzett kút (**2.2 fénykép**).

Az aknakutakat általában szivattyúval ellátott vízgyűjtő aknában végződő szifonrendszerrel üzemeltetik, egyedi gépészetet nélkül.



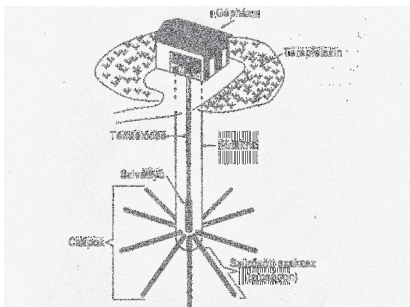
**2.4 ábra** Kajlinger-féle aknakút tervrajza, Fővárosi Vízművek Zrt. Budaújlaki vízműtelepe (Fővárosi Vízművek Zrt. kézirat nyomán)



**2.2 fénykép** Csápozott aknakútsor a Fővárosi Vízművek Zrt. Dunabalparti II. vízműtelepén

- Csáposkút

A csáposkutak alkalmazása a nemzetközi (például USA (Kazmann 1948b, Klaer 1953, Mikelis és Klaer 1956, Hubbs 2003, Hunt 2003), Németország (Hunt et al. 2003a, Hunt et al. 2003b) és a hazai (Léczfalvy 2004) gyakorlatban egyaránt elterjedt **(2.5 ábra)**.



**2.5 ábra** Csáposkút felépítése (Hunt, H. et al. 2003a nyomán)

**2.3 fénykép** Törpe-csáposkút a Fővárosi  
Vízművek Zrt. Dunabalparti II.  
vízműtelepén

- Kis átmérőjű (törpe): a hazai gyakorlat szerint 2,2 m átmérőjű acél kútpaláستtal markolás és hidraulikus rásegítés révén süllyesztett kút, 216 mm átmérőjű csápozással **(2.3 fénykép)**.
- Nagy átmérőjű: általában 3-5 m átmérőjű öntöttvas, vasbeton paláستtal süllyesztett kutak, alsóbb szakaszukon – a hidraulikus csápsajtolási technikának köszönhetően – páratlan, általában 7, vagy 9 db, egyenlő közű csáp kerül kihajtásra, átlagosan 200-250 m összhosszúságban. Két csápsíkos kiképzés esetén a csápsorok csápjai általában a másik csápsor szomszédos csápjai által meghatározott szögek szögfelezőibe esnek.

A csápok az európai gyakorlatban a parti régió vízádjában kerülnek kihajtásra, míg Észak-Amerikában gyakori ezek egy részének közvetlenül a meder alá történő besajtolása (Kazmann 1948b, Hunt 2003, Hunt et al. 2003a).

Előfordul fésűs csápos megoldás is, a partvonallal párhuzamos tengelyű, a folyó felé fésű-szerűen kialakított csápokkal.



---

A csápos kutak mindegyike egyedi szivattyúval ellátott.

A csápos kutak koncentrált területen, nagy mennyiségű vízkivételt tesznek lehetővé, ezért kialakításuk és üzemeltetésük, a természetes rendszerre és az egyéb vízkivételi műtárgyakra gyakorolt hatásuk miatt fokozott szakértelmet igényel.

- Galéria

A folyóval kommunikáló felszín alatti vízadóba általában a parttal párhuzamosan fektetett több tíz, esetenként néhány száz méter hosszúságú vízszintes perforált cső (Léczfalvy 2004). A galériacső átmérője többnyire 600-1000 mm, anyaga a hazai gyakorlatban általában öntöttvas. A galéria végein szivattyúval ellátott termeltető vízgyűjtő akna található **(2.4 fénykép)**.

Megjegyzendő, hogy az általános hazai gyakorlattól eltérően Nagymaros térségében a DMRV Zrt. meder alatt kialakított galériát üzemeltet.



**2.4 fénykép** Galériaág betorkollása (fénykép jobb felső részén nyíljal jelölve) a nagyteljesítményű szivattyúkkal felszerelt "C" gyűjtőaknába a Fővárosi Vízművek Zrt. Budaújlaki vízműtelepén

### **2.3.2 Monitoring műtárgyak**

A PS rendszerek vízszint- és vízminőség-megfigyelésre alkalmas monitoring műtárgyai felhasználásuk jellege és tervezett időtartama alapján állandó, vagy ideiglenes kialakítással készülhetnek.



---

### 2.3.2.1 Állandó kialakítású figyelőkutak



**2.5 fénykép** Duna középvízi parttéle és a próbatermelő kút között kialakított kúthármas Váli-víz-torkolat távlati vízbázison

A parton kialakított figyelőkutak és ideiglenes potenciométerek elrendezését a nemzetközi, például az észak-amerikai (USA) (Kazman 1948a, Kazmann 1948b) és a német (Schubert 2003, Hunt 2003, Verstraeten et al. 2003) mellett a hazai szakirodalom is hasonlóan írja le (Deák et al. 1992, Völgyesi 1993, KHVM 1999). Ezek szerint általánosan elfogadott, hogy az észlelőkutak a vizsgált termelőkút tengelyében a partéltre merőlegesen, valamint a folyóparttal párhuzamosan helyezkednek el. A folyóra merőleges szelvényben, termelőkúthoz közeli helyzetben kútpárok (KHVM 1999) találhatók, esetleg a folyó és a vízkivételi pont között egy kúthármas is helyet kap (Hunt et al. 2003a, Schubert 2003) (**2.5 fénykép**). A Duna parti szűréssel igénybevett, több száz méter széles szakaszain és az ahhoz hasonló méretű folyóknál a túlsáton nincs észlelőpont (Kazmann 1948b, Völgyesi 1993). A távolabbi háttér felszín alatti vízének megfigyelésére egy figyelőkút kialakítása szükséges a parttól 1-2 km távolságban (Kazmann 1948b, Deák et al. 1992, KHVM 1999).

### 2.3.2.2 Parton kialakított ideiglenes potenciométerek

A termelőkút közvetlen környezetében az ideiglenes potenciométereket az állandó figyelőkutakra vonatkozó elvek szerint, azok kiegészítésére kerülnek elhelyezésre (**2.6 fénykép**), ha azt az adott PS rendszer vizsgálatai külön megkívánják. Az ideiglenes műtárgyak elsődleges szerepe a vizsgált termelőkút

---

körüli hidraulikai változások pontos nyomkövetése, vízmintavételre kevésbé használatosak, bár alkalmasak rá.



**2.6 fénykép** Parton kialakított ideiglenes potencióméterek a próbatermelő kút környezetében Váli-víz-torkolat távlati vízbázison

### 2.3.2.3 Mederben kialakított ideiglenes mederszondák

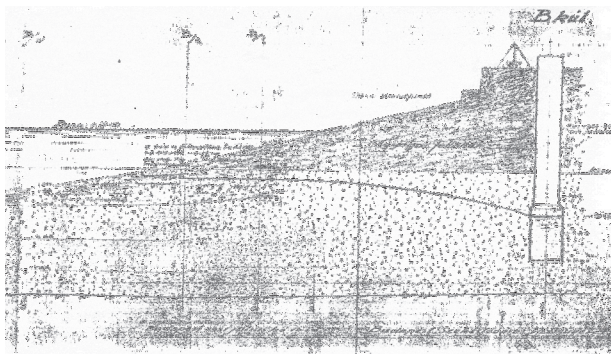
A nemzetközi és a hazai szakirodalom alapján a víztermelő kutak nyomán a folyók mederanyagában kialakuló hidraulikus depressziós tér közvetlen, mederszondás mérésére az elmúlt évszázadban csupán néhány kísérlet történt.

A nemzetközi gyakorlatban is úttörő jelleggel a Fővárosi Vízművek Zrt. (1931) szakemberei végeztek mederszondás méréseket a Duna budaújlaki partszakaszán kialakított vízbázisán. A mérésekről archivált dokumentáció hiányos (Fővárosi Vízművek Zrt. 1931), az elért eredmények néhány vízföldtani-hidraulikai szelvény formájában maradtak fenn (**2.6 ábra**), így a kivitelezés technikája, a mérés módszere nem reprodukálható.

Magyarországon később egy Kontúr (1984) által szabadalmaztatott eljárás került kipróbálásra, de a hosszú flexibilis érzélelőcsővel a parton végződő, kisvíz idején a mederanyag megbolygatásával beásott doboz alakú "szonda" nem elégítette ki a hozzá fűzött szakmai elvárásokat, nem szolgáltatott valós eredményeket a rendszer hidraulikai állapotáról és ezért széles körben nem terjedt el.

A Szentendrei-Duna medrében, Pócsmegyer térségében történtek hasonló jellegű kutatások (Rózsa 2000), azonban ott csak egy nagy átmérőjű infiltrométert helyeztek a Duna vízzel borított medrébe, az esetenként 1-2 db potenciómétert már a

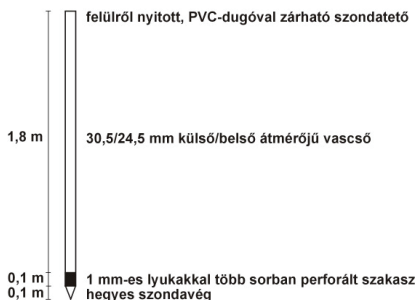
parti sávban alakították ki, amelyek így a part menti felszín közeli vízáadó hidraulikus potenciálterét tárták fel.



**2.6 ábra** Partélre merőleges, parti szűrészű kúton áthaladó vízföldtani szelvény Budaújlakon (Fővárosi Vízművek Zrt. 1931 nyomán)

Nemzetközi szinten az Amerikai Egyesült Államokban a múlt század közepén kezdődtek meg a hasonló jellegű mederszondás kutatások (Rorabaugh 1951). Ezután a, United States Geological Survey (Anonym, 2000) végzett hajóról telepíthető vert-szondás méréseket szintén az Ohio folyó medrében, Luisville város PS vízművénel. Az Ohio folyón végzett, jelentős apparátust igénylő vizsgálatokkal – a budaújlaki mérésekhez hasonlóan – közvetlenül sikerült vizsgálni a folyómeder alatti vízáadó hidraulikus potenciálterét, de további levezetett számítások nem készültek.

A korábbi nemzetközi és hazai kutatások tapasztalatait ismerve, 1999-2000 folyamán az SMARAGD-GSH Kft-ben Gondár Károly egy mederszondát dolgozott ki a vízzel telt folyómeder alatti potenciálviszonyok mérésére, melyet az SGSH először a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. Leányfalui PS vízbázisán alkalmazott, az ott végzett vízbázisdiagnosztikai kutatások keretében (SMARAGD-GSH Kft. 2000, Balassa et al. 2003). A kifejlesztett mederszonda hidraulikai alkalmazását tervezőként és terepi geológusként már én végeztem (SMARAGD-GSH Kft. 2002a, 2002b).



**2.7 ábra** Mederszonda műszaki rajza



**2.7 fénykép** Mederszondák (a képen nyilakkal jelölve) Váli-víz torkolat távlati vízbázison

Az ideiglenes mederszondák (2.7 ábra, 2.7 fénykép) a vizsgált folyó megkutató oldalán, a termelőktől tengelyében a partéltre merőlegesen, egymástól kb. 5-5 m-es távolságra kerülnek kialakításra. A szondák az aljukon hegyesen zárt végüktől 0,1 m-re, 0,1 m hosszban szűrőzöttek. A perforált szakasz több sorban elhelyezkedő 1 mm-es lyukakkal kerül kialakításra. A mederpotenciométerek anyaga vascső, külső/belső átmérőjük 30,5/25,4 mm, hosszuk 2 m, szükség esetén 3-4 m. Az ideiglenes mederszondák 3 kg-os kalapáccsal, vagy egy speciális beütőeszközzel (kos), egy 50,8 mm átmérőjű, dupla fogantyúval ellátott, 3 kg-os súllyal megfajelt 80 cm hosszú csővel kerülnek lesüllyesztésre.

Szűrőzött szakaszuk lehetőség szerint néhány méteres (2-6 m) mélységbe a mederfenék alá kerül lesüllyesztésre azért, hogy a bennük mért vízszint-értékek mind jobban tükrözzék a megcsapolt vízádnak a termelőktől szűrőközpontja által meghatározott horizontjára jellemző értékeket. A szükséges szűrőmélység követelménye egy adott pontban továbbá az is, hogy a szondákban lévő vízoszlop magassága biztonsággal meghaladja a vizsgált PS kút termeltetése során várható felszín alatti vízszint/hidraulikus potenciálszint ingadozást, még a vizsgálat során tartósan előforduló alacsonyabb folyóvízállás időszaka alatt is. Ezért törekedni kell arra, hogy a parthoz közeli szondákban lévő a folyó középvíz-szintjéhez tartozó nyugalmi vízoszlop magassága a 4 m-t meghaladja, míg a folyó felé beljebb ez az érték már kevesebb lehet. Ha szükséges a szonda-süllyesztés során 2-2 m-es szondacső-toldó szálak hegeszthetők a kisvíz esetén száraz mederágyból kiálló szondavéghez és a lehatolás a kívánt mélységig folytatható. Az aktuálisan vízben álló szondák esetén helyszíni hegesztéses toldás nem alkalmazható, így ezeken a

---

pontokon a lehető leghosszabb egytagú szállal kell dolgozni, ami max. 3-4 m. A fentiekben ismertetett technikával elérhető szűrőzési mélység a víztermelés hatására a meder alatt kialakuló hidraulikus depressziós tölcsér vizsgálatára általában elegendő. A kiképzés után a szondákat perisztaltikus kézipumpával legalább háromszori teljes leürülésig, vagy folyamatos vízadás esetén 5 percen keresztül megtisztítjuk a bennük lévő zagyától. A tisztítás során a réteg és a szondacső közötti hidraulikai kapcsolat létrejön. A szondák perem-magassága és helyzete kialakításuk után geodéziai bemérésre kerülnek, és a mederfenékhez viszonyított csőkiállásaikat is rögzítjük. A rongálások, idegen anyagtól való eltömődés és a felszín alatti víz védelme érdekében a szondák PVC dugóval kerülnek lezárásra. A partközeli vízisport tevékenység biztonsága érdekében minden ideiglenes mederszonda kis méretű bójával kerül megjelölésre. A vizsgálat ideje alatt aktuálisan a folyó vízszintje fölött lévő potenciométerekben a vízszintészlelés meghatározott időpontokban manuálisan elvégezhető.

A méréssorozat lezárultával a potenciométerek kihúzással megszüntetésre kerülnek, ezzel az adott helysín az eredetivel megegyező állapotba állítható vissza.

---

### 3. PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELÉS HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA A SZAKIRODALOMBAN

A dolgozat tárgyára és célkitűzéseire tekintettel a víztermelő parti szűrésű (PS) rendszerek kutatásáról szóló nemzetközi és hazai szakirodalom áttekintésekor csak az elméleti hidraulikai munkák kritikai megjegyzéseimmel ellátott ismertetésére szorítkozom.

#### 3.1 VÍZTERMELŐ PARTI SZŰRÉSŰ RENDSZEREK HIDRAULIKAI ALAPÚ PROBLÉMAKÖREI

A víztermeléssel előidézett (PS) hidraulikai vizsgálatokor, az ilyen típusú rendszerek működésére, elemeinek leírására, azaz a rendszer komplex megismerésére irányulóan több kérdéskör fogalmazható meg az Problémafelvetés c.

**1.2 fejezetben** megfogalmazottak szerint:

- Mekkora és hogyan számítható a PS termelőkút által okozott hidraulikus depresszió a part menti felszín közeli vízadóban?
- Mekkora és hogyan mérhető, illetve számítható a PS termelőkút által okozott hidraulikus depresszió a meder alatti vízadóban, és egyúttal mekkora a meder alatti távolhatás mértéke?
- A különböző eredetű vizek jelenléte miatt milyen keveredési arányokkal számolhatunk a PS termelőkútból kitermelt víz esetében?
- Mekkora a mesterséges és/vagy természetes hatásra a mederfenéken kialakuló rossz vízvezetőképességű *mederközvetítő réteg* hidraulikus ellenállása és szivárgási tényezője?
- Mekkora a PS víztermelés hatására a folyóból történő közvetlen felszíni vízbeszivárgást a felszín alá közvetítő *aktív mederfelület* kiterjedése?

A víztermeléses PS rendszerek kérdésköreinek megválaszolására irányuló, hidraulikai módszereket bemutató szakirodalmi előzmények, a témában végzett kutatásaim megkezdéséig felhalmozódott elméletek ismertetése érdekében, ebben a fejezetben a PS több mint hét évtizedre visszatekintő meghatározó nemzetközi és hazai kutatási módszereinek, elméleteinek keresztmetszete és kritikai értékelése kerül összefoglalásra.

---

Célom, hogy a fogalmi értelmezések és az ismert megközelítések, módszerek bemutatásával, elemzésével rámutassak a víztermeléses PS hidraulikai kutatásában fellelhető hiányosságokra, pontatlanságokra, és ezek révén jelöljem ki kutatásom fő irányait.

Meg kívánom jegyezni, hogy a tárgykörben publikált egyes elméleti megközelítések kutatásomhoz kapcsolódó elemeit a dolgozat megfelelő részeiben vizsgálataim szemszögéből később is ismertetem, illetve azokat hiánypótló kutatási módszereim eredményei nyomán pontosítva, egyszerűsítve, módosítva fel is használok.

### **3.2 HIDRAULIKUS DEPRESSZIÓ SZÁMÍTÁSA A PART MENTI FELSZÍN KÖZELI VÍZADÓBAN**

A PS víztermelő objektumok által a part menti felszín közeli vízadóban keltett hidraulikus depresszió számítására Forchheimer (1935), majd Dietz (1943) kidolgozták, később Rorabaugh (1951), Mikelis és Klaer Jr. (1956), Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) pontosították a felszín közeli vízadókra az ún. forrásnyelő módszeren alapuló part menti vízszintleszívás-számítás alapjait felszíni víztestek (folyók) környezetében.

A Dupuit-Thiem-féle megoldáson (Dupuit 1863, Thiem 1906) (3.1) alapuló módszer lényege, hogy a folyamatos víztermelés és konstans környezeti feltételek mellett viszonylag gyorsan, néhány nap alatt kialakuló permanens PS hidraulikai rendszerben a folyó egy látszólagos kúttal kerül helyettesítésre, melynek helyzete a valós termelőkút egy adott szimmetria-tengelyre való tükrözésével állapítható meg. A látszólagos kút hozama a vizsgált termelőkútéval azonos, de ellentétes előjelű, tehát negatív, azaz betáplál a rendszerbe, szimulálva ezzel a folyó betáplálós hatását.

A permanens hidraulikai számítási módszerek az alábbi általános feltételek mellett alkalmazhatók (Dupuit 1863, Thiem 1906):

1. A vízadó fedett, vízszintes, végtelen kiterjedésű.
2. A vízadó homogén, izotróp és konstans vastagságú a szivattyútest által érintett területen.
3. A szivattyúzás megkezdése előtt a felszín alatti víz potenciometrikus felszíne (közel) vízszintes a szivattyútest által érintett területen.
4. A szivattyúzás hozama állandó.
5. A szivattyúzott kút a vízadót teljes vastagságában harántolja, és így azt felülnézetben radiális pályájú felszín alatti vízáramlás révén, szelvényben a

---

teljes vízáadó-vastagságában párhuzamosan futó áramvonalakkal, egyenletesen csapolja meg.

6. A kúthoz történő vízáramlás permanens, azaz a kitermelt víz forrása nem a kút környezete, hanem – konstans hidraulikus emelkedési magasságú peremeken túl – a vízáadó távolabbi részei.

PS rendszerek permanens hidraulikai vizsgálatakor az 1. pontban foglaltakat módosító határfeltételként kell figyelembe venni, hogy:

7. A fedett, vízszintes vízáadó kiterjedése csak a féltér felé végtelen és a PS termelőkút távolhatása által érintett területen belül a felszín közeli vízáadó egy darab, egyenes lefutású, állandó vízszintű utánpótlódási típusú határral (folyóval) harántolt teljes vastagságban (Kruseman és De Ridder 1983).

Ezen felül Forchheimer (1935), Dietz (1943), Rorabaugh (1951), Mikelis és Klaer Jr. (1956) munkáinál további határfeltételként megadásra kerül, hogy:

8. A szivárgáshidraulikai paraméterek értékei az utánpótlódási típusú határ és a víztartó kontaktusán megegyeznek a víztartó egészével (Kruseman és De Ridder 1983).

Fedett vízáadó permanens állapotú deprimált hidraulikus terének meghatározása a Dupuit-Thiem-féle képlet (Dupuit 1863, Thiem 1906) (3.1) szerint,

$$s_{1\max} - s_{2\max} = \frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{Dupuit 1863, Thiem 1906}) \quad (3.1),$$

ahol:  $s_{1\max}$ : maximális leszívás nagysága a termelőkúthoz közelebbi figyelőponton [m];  $s_{2\max}$ : maximális leszívás nagysága a termelőkúttól távolabbi figyelőponton [m]; Q: víztermelő kút hozama [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];  $r_1$ : vízkitermeléshez közelebbi,  $x_1, y_1$  síkkoordinátájú figyelőpont távolsága a termelőkúttól [m];  $r_2$ : vízkitermeléstől távolabbi  $x_2, y_2$  síkkoordinátájú figyelőpont távolsága a termelőkúttól [m]; K: felszín közeli vízáadó szivárgási tényezője [m/d]; b: felszín közeli vízáadó vastagsága [m].

A (3.1) képlet egy termelőkút adott víztermelési hozamhoz tartozó háttér felé irányuló távolhatása ( $R_P = r_2$  [m], ahol  $s = s_{2\max} = 0$  m), alapján az alábbi (3.2) formába írható át Dupuit (1863) és Thiem (1906) nyomán,



$$s_{1max} = \frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{R_p}{r_1} \quad \text{Dupuit (1863), Thiem (1906) (3.2),}$$

ahol:  $R_p$ : termelőkút adott vízhozamához tartozó háttér felé irányuló távolhatása [m] (ezen a körvonalon  $s=s_{2max}=0$  m; a többi tényező az (3.1) képleténél közöltekkel azonos.

A (3.2) kifejezés alapján a folyót helyettesítő látszólagos kút – negatív vízhozam ( $-Q$  [ $m^3/d$ ]) mellett – adott pontra gyakorolt hatása hasonlóképpen felírható (3.3) Dupuit (1863), Thiem (1906) megoldása szerint és Forchheimer (1935) nyomán,

$$s_{1max} = -\frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{R_p}{\rho} \quad \text{Forchheimer (1935) (3.3),}$$

ahol:  $\rho$ : adott  $x_1, y_1$  síkkoordinátájú pont látszólagos kúttól való távolsága [m]; a többi tényező az (3.1) és (3.2) képleteknél közöltekkel azonos.

A vízszintleszívással ( $s$  [m]) mérhető, alapsíkhöz (tengerszint) viszonyított hidraulikus emelkedési magasság ( $h$  [m]), illetve a telített felszín alatti tér megfigyelt pontjához (szűrőkőzép) viszonyított nyomásemelkedési magasság ( $\Psi$  [m]) skaláris mennyiségek (Hubbert 1940), additív tulajdonságúak. Ezért telített rendszerben bármely adott felszín alatti pontot érő különböző hidraulikai hatások egy eredő hidraulikus potenciál ( $h$  [m]) értékkel, azaz leszívás ( $s$  [m]) értékkel összegeezhetők.

Folyó típusú határfeltétel mellett történő víztermelésnél ezt a törvényszerűséget a **3.1 ábra** szemlélteti. A fentiek értelmében egy adott  $x_1, y_1$  síkkoordinátával rendelkező part menti figyelőpontra a kétféle hidraulikai hatást megadó (3.2) és (3.3) kifejezések összeadhatók (Forchheimer 1935). Tekintettel a látszólagos betáplálásra, a (3.3) képleténél szereplő negatív jel ( $-Q$  [ $m^3/d$ ]) miatt az összegzéskor valójában a (3.2) kifejezésből a (3.3) kifejezés kivonásra kerül. A műveletnél a logaritmikus értékek kivonására ( $\log_a x - \log_a y = \log_a(x/y)$ ), továbbá a törtek egymással való osztására ( $b/c : d = b/c \cdot d/b = d/c$ ) vonatkozó aritmetikai szabályokat alkalmazzuk. Ezért egy PS termelőkút part menti depressziós területén lévő, egyúttal a folyó hatása alatt is álló  $x_1, y_1$  síkkoordinátával rendelkező pontra, adott környezeti állapotok és állandó termelt vízhozam, tehát permanens hidraulikus viszonyok mellett Forchheimer (1935) nyomán a következőképpen (3.4) adható meg a maximális leszívás ( $s_{1max}$  [m]) mértéke,

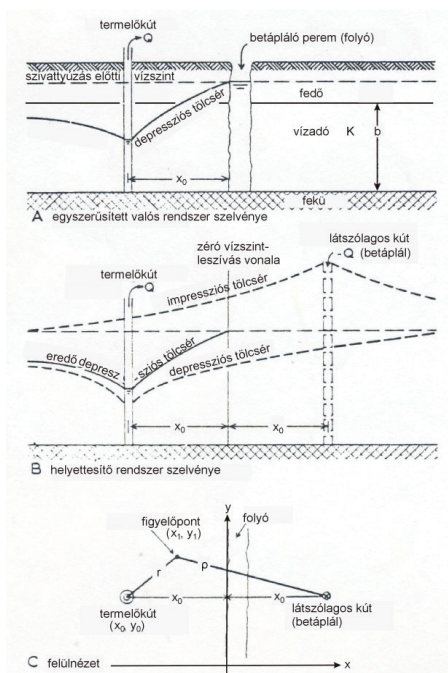
$$s_{I_{max}} = \frac{Q}{2\pi K b} \ln \frac{\rho}{r_1} \quad \text{Forchheimer (1935)} \quad (3.4),$$

ahol: a tényezők jelentését lásd az (3.1), (3.2) és (3.3) képleteknél.

Általánosan a (3.4) összefüggést a Forchheimer (1935) által meghatározott képlettel (3.5) írhatjuk le,

$$s = \frac{Q}{2\pi K b} \ln \frac{\rho}{r} \quad \text{Forchheimer (1935)} \quad (3.5),$$

ahol: s: maximális eredő leszívás nagysága egy tetszőleges, a PS termelőkút távolhatása alá eső part menti ponton [m]; r: ugyanazon tetszőleges pont távolsága a termelőkúttól [m]; a képletben szereplő további tényezők az (3.1), (3.2), (3.3) és (3.4) képleteknél közöltekkel azonosak.



**3.1 ábra** Felszín közeli vízáadó egyszerűsített keresztmetszévé egyenes folyó típusú határfeltétel mellett, A: egyszerűsített valós rendszer szelvénye, B: helyettesítő rendszer szelvénye, C: felülnézet (Kruseman és De Ridder (1983) nyomán kiegészítve)

Mint látható, a módszer alkalmazásakor lényeges kérdés a kút-tükrözést meghatározó szimmetria-tengely (a derékszögű síkkoordináta-rendszerben vizsgált PS rendszer y-koordináta-tengelyének **(3.1c ábra)**) helyzete. Forchheimer (1935), majd Dietz (1943) a kút-tükrözést meghatározó zéró vízszint-leszívás vonalát **(3.1b ábra)** a víztermeléssel érintett partoldal *valós* partéleire helyezi **(3.1a ábra)**, és ezzel azt tekinti szimmetria-tengelynek a forrás-nyelő alapegyenletben (5). Dietz (1943) ennek megfelelően képletében (3.6) a Pitagorasz-tételen alapuló ún. Green-függvénnyel ( $G(x,y)$  (3.7)) adja meg az adott  $x_1$ ,  $y_1$  síkkoordinátával rendelkező figyelőpont *valós* és látszólagos termelőkúttól való távolságát, azaz (3.5) kifejezésben szereplő  $r$ -t és  $p$ -t, az alábbiak szerint,

$$s = \frac{Q}{2\pi K_b} G(x,y) \quad (\text{Dietz 1943}) \quad (3.6),$$

ahol: a tényezők jelentését lásd az (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) és (3.5) képleteknél,  $G(x,y)$  pedig a (3.7) összefüggés szerint kifejezett,

$$G(x,y) = \ln \sqrt{\frac{(x_1 + x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}} \quad (\text{Dietz 1943}) \quad (3.7),$$

ahol:  $G(x,y)$ : a Green-függvény; továbbá derékszögű síkkoordináta-rendszerben:  $x_0$ : termelőkút  $x$ -koordinátája;  $y_0$ : termelőkút  $y$ -koordinátája;  $x_1$ : figyelőkút  $x$ -koordinátája;  $y_1$ : figyelőkút  $y$ -koordinátája (a képletben szereplő tényezők jelentését a **3.1c ábra** szemlélteti).

Véleményem szerint a bemutatott megközelítés alapelvében helyes, de hibája, hogy Forchheimer (1935) és Dietz (1943) szerzők által figyelembe vett, kút-tükrözést megadó szimmetria-tengely helyzete a rendszervizsgálat szempontjából nem kielégítő. Mivel a természetben nem fordul elő *tökéletes folyó*, azaz a folyók mederfala általában nem függőleges, illetve a mederfenék nem, vagy csak ritkán, rövidebb folyószakaszokon ér le a felszín közeli vízadó összlet feküjének felszínéig **(3.1a ábra)**, továbbá a felszíni víztestből a mederanyagba történő vízbeáramlás sohasem ellenállásmentes, ezért a *valós* partél nem képezhet hidraulikai tengelyt. Így az ezzel a tengellyel kidolgozott számítások a gyakorlati életben nem szolgáltathatnak megfelelő eredményt.



---

A (3.8) egyenlet átrendezésével és a többi adat ismeretében a Rorabaugh-féle tengely helyzetét meghatározó "D" távolság (3.2 ábra) aktuális értéke a víztermelési hozamot ( $Q$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) és a leszívási értékben ( $s$  [ $\text{m}$ ]) megjelenő folyó vízállást is figyelembe véve kifejezhető. Ennek – mint a (3.8) képletből látjuk – előfeltétele a felszín közeli vízádóra vonatkozó paraméterek ( $K$  [ $\text{m}/\text{d}$ ]: felszín közeli vízádó szivárgási tényezője;  $b$  [ $\text{m}$ ]: felszín közeli vízádó vastagsága) előzetes ismerete, ami véleményem szerint a rendszer előzetes hidrogeológiai vizsgálatát teszi szükségessé.

Az így meghatározott szimmetria-tengelyt Mikelis és Klaer Jr. (1956) „effective line source”, azaz „hatékony vonalmenti forrás” kifejezéssel adja meg (3.2 ábra). Mivel e módszer esetében egy kizárólag a part menti vízszint-leszívás számításához alkalmas hidraulikai-szimmetria-tengelyt keresünk, és nem a folyó oldaláról származó vízhozam nagyságát vizsgáljuk, ezért a Mikelis és Klaer Jr. (1956) által a Rorabaugh-féle (1951) tengelyre meghatározott fogalom helyett – az eddig bemutatott ismeretek tükrében – javaslok a *másodlagos partél* elnevezés bevezetését, függetlenül attól, hogy ez a másodlagos tengely elfogadható-e az így meghatározott a helyzetben.

Véleményem szerint a Rorabaugh-féle *másodlagos partél* meghatározási módja matematikailag helytálló, de a gyakorlatban mégsem alkalmazható. A módszer ugyan kiküszöböli a meder tökéletlenségét okozó geometriai hatásokat (lejtős part; vízádó részleges harántolása→függőleges part; vízádó teljes harántolása), de e tényezőkön túl figyelmen kívül hagyja, hogy a leszívás mértékét a meder tökéletlenségét szintén előidéző, mederfenéken fellépő hidraulikai ellenállás komponense is mindenkor befolyásolja, azaz az így meghatározott *másodlagos partél* a PS rendszer nem helyettesíthető, a számítások nem szolgáltathatnak pontos eredményt.

A hidraulikai vizsgálatokat keretbe helyező határfeltételek közül a 8. típusúval, úgy mint „a szivárgáshidraulikai paraméterek értékei az utánpótlódási típusú határ és a víztartó kontaktusán megegyeznek a víztartó egészével”, meglátásom szerint a PS rendszerek nem egyszerűsíthetők. Ennek oka, hogy a mederfenéken mesterséges és/vagy természetes hatásra mindig kialakul egy a meder alatti vízádónál rosszabb vízvezető képességű réteg is (Rákóczi 1997, Schubert 2003 és Rück 2007). A felszíni vízből a víz felszín alá történő belépésénél az új fázis, a földtani közeg megjelenésén túl ez a vékony mederréteg is okozza, hogy a felszíni és a felszín alatti víz kapcsolata sohasem ellenállásmentes (Völgyesi 1993, 2005). Ezért ennek a

rétegnek, mint rendszerműködést befolyásoló elemnek szükséges a hidraulikai számításoknál történő figyelembe vétele és csak az így kapott eredmények más rendszervizsgálati módszerrel nyert eredményei alapján dönthető el, hogy ez a tényező egyszerűsítésként elhanyagolható-e egy adott rendszer további értékelésénél.

Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) számításaiknál a Forchheimer-féle képlet (3.5) (Forchheimer 1935) alapján, részletes matematikai háttérrel figyelembe vették a mederellenállás hatását.

A Bochever et al. (1978, 1979) által közölt, Forchheimer- (3.5) és az azzal ekvivalens Dietz-féle (3.6) megoldásra épülő képlet (3.9) már figyelembe veszi azt az esetet, amikor a meder hidraulikai értelemben véve nem teljesen tökéletes. A víztermelés által okozott depresszió mértéke a vízkivétel partján egy adott  $x_1$ ,  $y_1$  síkkordinátájú ponton Bochever-Lapsin képletével (Bochever et al. 1978, 1979) (3.9),

$$s_I = \frac{Q}{2\pi Kb} \left( \ln \frac{\rho}{r} + R_I \right) \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (3.9),$$

ahol:  $R_I = J_1 + J_2$  [-];  $J_1$  és  $J_2$  tagok a meder és a vízáadó összlet kapcsolatában jelentkező többletellenállás mutatói, a többi kifejezés pedig az (3.5) és (3.6) egyenleteknél közöltekkel azonos.

$J_1$  és  $J_2$  összetett függvények, melyek jellemző diszkrét értékeit a hivatkozott szakirodalmak táblázatos formában közlik a vízfolyástól, illetve a vízkivételtől való távolság, a mederszélesség, valamint a *meder* alatti *közvetítő* rétegre és a meder alatti vízádóra együttesen jellemző  $\alpha$ -mutató (3.10) függvényében, mely utóbbi,

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_0}{K_1 b_1 b_0}} \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (3.10),$$

ahol:  $\alpha$ : *mederközvetítő rétegre* jellemző mutató [1/m];  $K_0$ : *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : *mederközvetítő réteg* vastagsága [m],  $K_1$ : meder alatti vízáadó szivárgási tényezője [m/d];  $b_1$ : meder alatti vízáadó vastagsága [m].

Ezt a megoldást a magyar szakirodalomban Székely (1981), Aujeszky (1985), Völgyesi (1993) és egyes részleteiben Rózsa (2000) is ismerteti, de gyakorlati alkalmazhatóságát reprodukálható számítással csak korlátozottan mutatják be.

Bochever et al. (1978, 1979) szerzők szintén szükségesnek tartják a *másodlagos partél* alkalmazását. Ennek helyzetét Bochever et al. (1978) kizárólag a vízköztetésben érintett földtani rétegek paraméterei alapján (3.11), míg Bochever et al. (1979) ezek és a vízzel telt mederszélesség (jele: 2a) figyelembe vételével határozzák meg (3.12) úgy, hogy az így számított  $\Delta L$ -értékkel a *valós partél* önmagával párhuzamosan eltolásra kerül a folyó irányába,

$$\Delta L = l/\alpha = \sqrt{\frac{K_1 b_1 b_0}{K_0}} \quad (\text{Bochever et al. 1978}) \quad (3.11),$$

ahol:  $\Delta L$ : valós partél folyó felé történő eltolásának mértéke [m];  $\alpha$ : mederköztető rétegre és a meder alatti vízádóra jellemző hidraulikai mutató [1/m];  $K_0$ : *mederköztető réteg* szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : *mederköztető réteg* vastagsága [m],  $K_1$ : meder alatti vízádó szivárgási tényezője [m/d];  $b_1$ : meder alatti vízádó réteg vastagsága [m],

$$\Delta L = \frac{cth 2\alpha a}{\alpha} \quad (\text{Bochever et al. 1979}) \quad (3.12),$$

ahol:  $\Delta L$ : valós partél folyó felé történő eltolásának mértéke [m];  $\alpha$ : mederköztető rétegre és a meder alatti vízádóra jellemző hidraulikai mutató [1/m]; 2a: vízzel telt mederszélesség.

Bochever et al. (1978, 1979) módszerét összefoglalva megállapítható, hogy a szerzők a PS víztermelés hatására a part menti felszín közeli vízádóban kialakuló hidraulikus depresszió számításakor  $R_1$  összetett paraméterben figyelembe vették a mederellenállást okozó faktorokat, továbbá szükségesnek tartják *másodlagos partél* megadását is. Azonban a kérdéses másodlagos szimmetria-tengelyre olyan formulákat (3.11) és (3.12) határoztak meg, melyek csak a mederfenéken kialakuló alacsony vízvezető képességű réteg és a meder alatti vízádó tulajdonságaitól, illetve a (3.12) egyenlet esetén a vízzel telített mederszélességtől függenek, de ezek a

---

kifejezések nem veszik figyelembe az aktuális folyóvízállás, valamint az aktuális termelés hatását.

Álláspontom szerint a bármilyen termelési és környezeti körülmény esetén állandó helyzettel meghatározott másodlagos tengely szintén nem adhat pontos eredményt a partoldai leszívás-számítások során. A módszer hátránya továbbá, hogy a mederellenállást magában foglaló  $R_1$  összetett paraméter a hidrogeológiai környezet előzetes feltártsága nélkül, az őt kifejező függvények nagy bemenő paraméterigénye és magas szintű matematizáltsága miatt a mindennapi gyakorlatban nem használható. Ezt a problémát a szerzők  $R_1$  diszkrét táblázatos értékeinek közlésével próbálják megoldani, mely belátható, hogy – helyesen megválasztott *másodlagos partél* esetén is – csak diszkrét esetek megoldására alkalmas.

A módszer alkalmazhatósága érdekében úgy gondolom, hogy szükséges az  $R_1$  faktor bármely, vízszint-leszívással érintett adott part menti pontra vonatkozó kifejezésének pontos, de egyúttal viszonylag egyszerű módon történő kifejezése, továbbá egy még továbbra is keresett tükrözési tengely helyzetének meghatározása.

Mérsékelt mederellenállás és több száz méter széles, a PS kút víztermelése által keltett hidraulikus depresszió meder alatti maximális elterjedésénél szélesebb folyók esetén a (3.9) egyenletben szereplő mederellenállást is kifejező tag ( $R_1$ ) Székely (1981) szerint elhanyagolható ( $R_1 \approx 0$ ). Ekkor a (3.9) egyenlet a Forchheimer-(3.5) (Forchheimer 1935), illetve az azzal megegyező Dietz-egyenletté (3.6) (Dietz 1943) egyszerűsíthető, de a hidraulikus depresszió-számítást (Székely 1981) továbbra is a (3.12) kifejezés alapján megadott partél eltolás mértéke alapján, a (3.13), (3.14) transzformációk figyelembe vételével tartja szükségesnek elvégezni,

$$x \rightarrow x + \Delta L \quad (\text{Székely 1981}) \quad (3.13),$$

ahol:  $\Delta L$ : valós partél folyó felé történő eltolásának mértéke [m];  $x$ : tetszőleges figyelőpont  $x$ -koordinátája (mely eredendően a valós partélhez ( $x=0$ ), mint  $y$ -tengelyhez viszonyítva került megadásra),

$$x_0 \rightarrow x_0 + \Delta L \quad (\text{Székely 1981}) \quad (3.14),$$



---

ahol:  $\Delta L$ : valós partél folyó felé történő eltolásának mértéke [m];  $x_0$ : termelőkút x-koordinátája (mely eredendően a valós partélhez ( $x=0$ ), mint y-tengelyhez viszonyítva került megadásra).

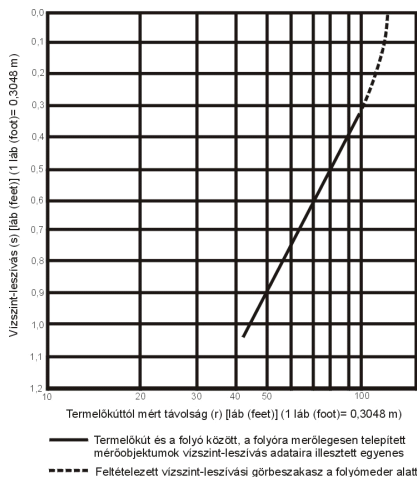
Székely (1981) a gyakorlati élet szempontjait figyelembe véve egyszerűsíti Bochever et al. (1978, 1979) módszerét, bár továbbra is a Bochever et al. (1979) által közölt, nem kielégítően meghatározott szimmetria-tengelyt használja. Megoldásában, a fejezetben korábban bemutatott kifejezésekből hiányzó, Bochever et al. (1978, 1979) által bevezetett mederellenállást is magában foglaló faktort ( $R_1$ ) kiküszöböli. Bár az  $R_1$ -faktor súlya széles, kis mederellenállású folyóknál valóban csekély a keskeny, nagy mederellenállású folyók esetéhez képest, véleményem szerint hatása még ekkor sem válik elhanyagolhatóvá. Ezért a fenti megoldás helyett lehetőség szerint törekedni kell az  $R_1$ -faktor alkalmazására, mégpedig annak Bochever és szerzőtársai (1978, 1979) módszerénél egyszerűbben történő meghatározás segítségével.

A kérdéses szimmetria-tengely helyzetének megállapításakor az eddig bemutatottakhoz képest előrelépést jelenthet a PS termelőkút által keltett meder alatti depresszió mértékének és ezzel a kút meder alatti távolhatásának meghatározása.

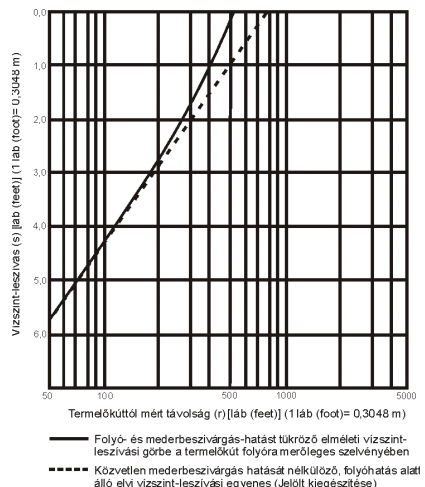
Ezek megadására egyrészt mederben végzett mérésekkel történtek kísérletek (Fővárosi Vízművek Zrt. 1918, 1931, Rorabaugh 1951, USGS Anonym, 2000), melyek dokumentáltsága vagy hiányos (Fővárosi Vízművek Zrt. 1918, 1931, USGS Anonym, 2000), vagy az adatok alapján a kérdéses szimmetria-tengely meghatározására vonatkozó analitikus feldolgozás nem történt meg (Fővárosi Vízművek Zrt. 1918, 1931, Rorabaugh 1951, USGS Anonym, 2000).

Más közelítésben a part menti objektumok hidraulikai adatai alapján is történtek becslések. Kazmann (1946), majd később Kazmann (1948a) az eljárását pontosítva part menti potenciométerek víztermelés mellett kialakult permanens hidraulikai állapotra vonatkozó egyidejű vízszintadatai alapján, Dupuit-Thiem távolság-leszívás adatelemzéssel (Dupuit 1863, Thiem 1906) kísérletet tett a meder alatti távolhatás megállapítására (**3.3 és 3.4 ábrák**). A szerző módszere alapvetően alkalmas a kérdéses meder alatti távolhatás meghatározására, de mégsem ad pontos választ rá, mindemellett egyszerű hidraulikai problémát vet fel.

Egyrészt egy vizsgált rendszerben a valós partélre merőleges szelvény partélhez közeli hidraulikus potenciáeloszlásán (**3.3 ábra**) Kazmann (1948a) becsléssel jelzi, illetve egy elméleti szelvényen (**3.4 ábra**) bemutatja, hogy a felszíni víztestből permanens hidraulikai állapot mellett történő konstans vízbetáplálás miatt a PS termelőkútnak a meder alatt a Dupuit-Thiem-féle módszerrel történő depressziószámítás (Dupuit 1863, Thiem 1906) alapján a vártnál kisebb távolhatása feltételezhető. Ezt a hatást Kazman (1948a) a közölt távolság-leszívás diagramokon (**3.3 és 3.4 ábrák**) felfelé konkáv görbékkel jelezi. Közvetlenül a vízzel telített mederben kialakított szondák hiányában a meder alatti vízadóra vonatkozó hidraulikus potenciáeloszlást, így  $s=0$  m leszívás érték mellett a PS termelőkút meder alatti valós távolhatását az idézett szerző azonban csak becsülni tudja (**3.3 és 3.4 ábrák**). Kazmann (1948a) ebben az általa feltételezett valós meder alatti távolhatási helyzetben valószínűsíti a valós folyót hidraulikai szempontból egyenértékűen helyettesítő folyó betápláló peremét ("line of recharge"), melyet egyúttal azonban a part menti hidraulikus depresszió számításához keresett szimmetria-tengelynek is gondol.



**3.3 ábra** Mért vízszint-leszívás adatok (Chippewa folyó PS kutatási terület, USA) értékelése, becsült görbeszakasz feltüntetésével fél-logaritmus koordináta-rendszerben (Kazmann 1948a nyomán)



**3.4 ábra** Idealizált elméleti vízszint-leszívás adatok bemutatása fél-logaritmus koordináta-rendszerben parti szűrő és parti szűrő nélküli rendszerben (Kazmann 1948a nyomán kiegészítve)

---

Véleményem szerint ez, az ezidáig ismeretlen helyzetű és fentebb már a általam is szükségesnek ítélt másik fajta másodlagos perem csak a meder felől a rendszerre ható tényleges hidraulikai folyamatok, hatások leírására alkalmas betápláló határt ("line of recharge") határozza meg, hiszen azok nyomán jön létre. Ezen a meder alatti tényleges távolhatási vonalon (szelvényben az  $s=0$  m-rel meghatározható ponton (**3.3 és 3.4 ábrák**)) lesz a PS termelőkút meder alatti vízszint-leszívása ( $s$  [m]) zérus, azaz itt a rendszer tényleges konstans hidraulikus emelkedési magasságú peremmel rendelkezik, melynek nagyságát a folyó aktuális vízszintje adja meg. Amennyiben ez a pont a meder alatt precízen kimutatható, a PS rendszer hidraulikai értelemben a meder felől lezárható lesz.

Az eredeti problémára, a part menti hidraulikus depresszió számításához szükséges tengely helyzetének megállapítására azonban nem tartom használhatónak a Kazmann (1948) által, a módosult távolhatás koncepciója alapján feltételezett másodlagos tengelyt. Mivel hidraulikai megfontolásból, a meder felől történő extra vízbetáplálás feltételezése alapján a Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) fél-logaritmikus tengelyű koordináta-rendszerben felfelé konkáv a meder alatti vízszint-leszívási görbe (Kazmann 1948a), az ilyen módon  $s=0$  m-rel meghatározott távolságot, mint kiinduló pontot felhasználva nem illeszthető egyenes a partoldalon mért vízszint-leszívás adatokra (**3.3 és 3.4 ábrák**), azaz ez alapján a tengely alapján nem kaphatunk pontos számítási eredményt a part menti deprimált hidraulikus potenciáltérre.

Az értékelésekor, Kazmann (1948a) a part menti szelvényben mért leszívás adatokra a fél-logaritmikus tengelyű távolság-leszívás koordináta-rendszerben illesztett egyenest nem hosszabbítja meg egy látszólagos  $s=0$  m-rel megadható pontig (**3.4 ábra**). Véleményem szerint az ilyen módszerrel szerkesztett egyenes (lásd: Jelölt kiegészítése a **3.4 ábrán**) lenne az, mellyel a part menti vízadó hidraulikus potenciáltérének számításához szükséges *másodlagos partél* helyzete megadható, mivel a *valós partél* és a termelőkút közötti szelvény bármely pontján mért leszívásadat illeszkedik rá.

A fentiek értelmében állásponton szerint szem előtt kell tartanunk, hogy az így meghatározott másodlagos szimmetria-tengely a víztermeléssel érintett PS rendszernek csak a partoldalon kialakuló hidraulikus potenciálviszonyainak leírására lesz alkalmas, a meder oldali és a meder alatti állapotok vizsgálatára azonban nem.

---

### 3.3 HIDRAULIKUS DEPRESSZIÓ MÉRÉSE A MEDER ALATTI FELSZÍN KÖZELI VÍZADÓBAN

A fejezet bevezetőjében ismertetett második kérdéskörre, azaz a PS termelőkút által okozott meder alatti hidraulikus depresszió és a meder alatti távolhatás mértékének meghatározására, az előzőekben tárgyaltak alapján véleményem szerint csak a vízzel telt mederben végzett mederszondás vizsgálatok adhatnak pontos választ, melyeknek az elmúlt évtizedekben történt kísérleteiről (Fővárosi Vízművek Zrt. 1918, 1931, Rorabaugh 1951, USGS Anony, 2000) már szót ejtettem. A fenti szerzők a mederben mért vízszintadataikat manuális szerkesztéssel (Fővárosi Vízművek Zrt. 1918, 1931, Rorabaugh 1951), vagy hidraulikai háttérmodszert nélkülözve, pusztán matematikai alapú inter- és extrapolációs eljárással (USGS Anonym, 2000) értékelték ki, ami szerintem a deprimált meder alatti hidraulikus potenciálfelszín peremeinek pontos megadását bizonytalanná teszi.

A mederszondák segítségével mért vízszint adatok kiértékelésére, a part menti potenciométerekben mért adatoknál Kazmann (1948a) által már alkalmazott Dupuit-Thiem-féle távolság-leszívás adatelemzési módszert (Dupuit 1863, Thiem 1906) szintén alkalmasnak tartom. Egyúttal érdekes feladat az ilyen jellegű vizsgálattal a Kazmann (1948a) által hidraulikai megfontolásból feltételezett felfelé konkáv meder alatti vízszint-leszívás görbeszakasz kimutatása az áramtér meder alatti torzulásának igazolására.

A fent ismertetett technikai- és adatelemzési részmodszerek előnyeit felhasználó, a meder alatti hidraulikus depressziót és a PS termelőkút pontos meder alatti távolhatását hidraulikai alapon meghatározni kívánó céllal megtervezett, kivitelezett és értékelt vizsgálatokat a nemzetközi és a hazai szakirodalom ezidáig nem közölt.

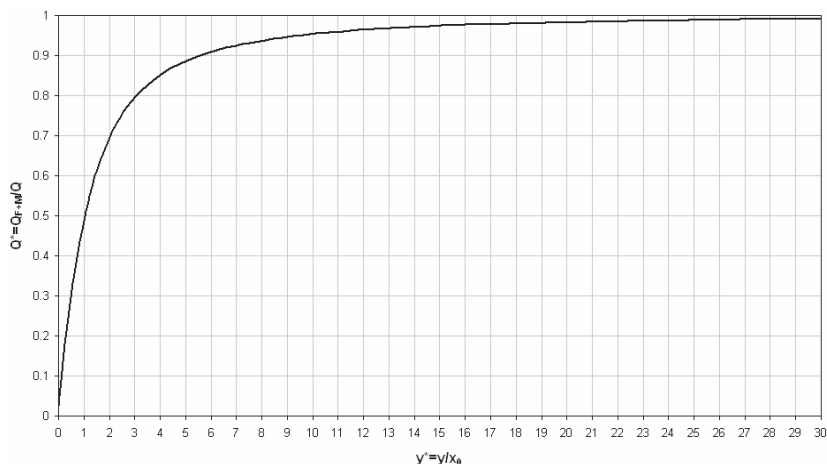
Hazánkban Rózsa (2000) mutat be hasonló jellegű Duna menti mintaterületen végzett vizsgálatokat, de ezeknél a vízzel telt mederben csak egy nagy átmérőjű infiltrrométer került kialakításra és emellett mindössze két darab mérőszondát helyezett el, de csak a parton, illetve száraz mederszélen. Az ilyen módon telepített szondák gyakorlatilag a part menti potenciométerekkel egyenértékűek. Ezen túlmenően a műtárgykiosztásnál Rózsa (2000) nem vette figyelembe a termelőkúton áthaladó, partélre merőleges tengely kitüntetett szerepét és szondáit attól eltérő helyzetben, két termelőkút közé eső partra merőleges egyenes mentén alakította ki. A figyelőobjektumok ilyen jellegű elrendezése a *kitüntetett szelvényre* kidolgozott

eljárások miatt módszerében további hibaforrást jelent. Rózsa (2000) számításainak levezetésekor az áramlási intenzitást (Darcy-féle sebesség) ( $q$  [m/d]), mint a térfogatáramot kifejező mennyiséget, és a vonal menti sebességet ( $v$  [m/d]) megfelelteti egymással, ami az általa bemutatott megközelítést elvi hibával is terheli. A két mennyiség kapcsolata helyesen:  $q=v \cdot n$ , ahol  $n$ : a porozitás tizedes alakban.

Ezek mellett a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) is telepített vert szondákat folyópart mentén vízközelben (in: Rózsa 2000). A szondák azonban ezeknél a vizsgálatoknál sem a felszíni vízzel telített mederbe lettek elhelyezve, így a közvetlen mederhidraulikai vizsgálat nem volt biztosított.

### 3.4 PARTI SZŰRÉssel TERMELT VÍZ KEVEREDÉSI ARÁNYAINAK MEGHATÁROZÁSA

A PS termelőkútból kitermelt különböző eredetű vizek, azaz a folyó felől és a háttér felől származó vizek keveredési arányainak hidraulikai adatokon nyugvó meghatározása a következő tárgyalandó kérdéskör.



**3.5 ábra** Az aktív partszakasz hosszának a fele ( $y$  [m]) és a termelőkút partétől való távolságának ( $x_0$  [m]) hányadosa ( $y^*$ ), valamint a folyó felől érkező együttes vízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) és az összes kitermelt vízhozam ( $Q$  [m<sup>3</sup>/d]) hányadosának ( $Q^*$ ) függvénykapcsolata természetes háttéráramlás nélküli, vagy ezzel a feltétellel közelíthető parti szűrésű víztermelő rendszerekben (Bochever F. M. et al. 1979 nyomán)

Bochever és szerzőtársai (1979) természetes háttéráramlás nélküli feltétellel közelíthető rendszerre vizsgálták a folyóoldal és a háttér felől a termelőkúthoz érkező vizek keveredési viszonyait. (Ez a megközelítés a valós rendszerek egyszerűsítésén

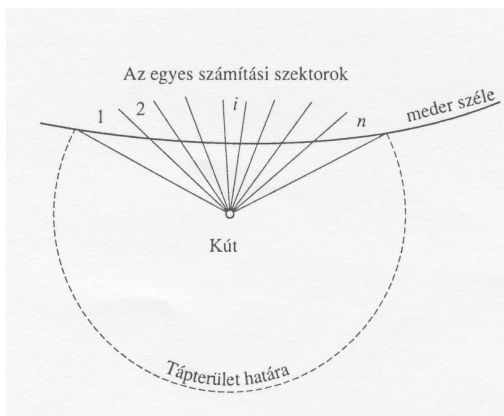
---

alapul, de vizsgálatuk kapcsán a vonatkozó 3. típusú Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) határfeltétel – úgymint a vízáadó nyugalmi hidraulikus potenciálfelszíne a szivattyúzás megkezdése előtt (közel) vízszintes – véleményem szerint a szűk part menti régióban megengedhető). Az idézett szerzők különböző helyszíneken végzett méréseik alapján egy tapasztalati görbén nyugvó számítási módszert dolgoztak ki (**3.5 ábra**). A módszerrel az aktív partszakasz hosszának a fele ( $y$  [m]) és a termelőkút partétől való távolságának ( $x_0$  [m]) hányadosa ( $y^*$ ), valamint a folyó felől érkező együttes vízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) és az összes kitermelt vízhozam ( $Q$  [m<sup>3</sup>/d]) hányadosának ( $Q^*$ ) függvénykapcsolat révén megfeleltethető egymással (**3.5 ábra**). Ezek alapján a folyó felől érkező együttes vízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) a többi tag ismeretében kifejezhető. A PS rendszereknek e fejezet előző részeiben bemutatott szakirodalmi értékelése alapján azonban ezidáig kérdéses az aktív partszakasz helyzetének, hosszának ( $2y$  [m]) és a termelőkút partétől való távolságának ( $x_0$  [m]), mint a számításhoz szükséges bemenő paramétereknek a pontos meghatározására. A módszer további hiányossága, hogy a tapasztalati görbe matematikai kifejezésére a szerzők nem tértek ki. Ezért szintén új kutatási tárgyként merül fel az ismertetett módszer problémáinak hidraulikai alapú orvoslása és további vizsgálati helyszíneken történő tesztelése.

Léczfalvy (1980) a Tisza menti PS területekről származó mérési adatok segítségével közöl számításokat a folyómeder alól szivárgó vízmennyiség meghatározására. A levezetett képleteket közvetlenül a folyópartra telepített galéria esetére tekinti érvényesek. Léczfalvy (2004) posztumusz tanulmányában szintén szereplő képletekkel kapcsolatban Vágás és Varga (2004), a mű lektorai a szerző által bevezetett rendszergeometriai és számítási kötöttségek miatt kritikai észrevételeket fogalmaznak meg és jelzik, hogy az azokon alapuló képletek nem jelenthetik a Léczfalvy (2004) által kitűzött célok végleges, egzakt megoldását. A valóságot legkevésbé közelítő rendszerelemek a háttérben, valamint a mederben, a túlpárt irányában elhelyezett vízzáró peremek.

Juhász (1987) viszont éppen ellenkezőleg, a valós PS rendszerelemeket maximálisan figyelembe vevő összetett megoldást mutat be a kitermelhető parti szűrésű vízkészlet számítására. A módszer alapelve véleményem szerint helyes, mivel a szerző konstans hidraulikus potenciálú peremekkel zárja körbe a PS termelőkút tágabb környezetét, ami a kvázi permanens hidraulikai állapotú PS rendszerek esetén megengedhető (**3.6 ábra**). A partoldalon a tápterület határa egy

körív, melynek középpontja a termelőkút, sugara a kút adott vízhozamához tartozó háttértávolfatás mértékével megadott, végpontjai a körnek a valós partéllal alkotott metszéspontjai. A mederoldalon Juhász (1987) a felszín alatti teret a termelőkúttól kiinduló szektorokra bontja (**3.6 ábra**) a mederoldali hozam számítása érdekében. Itt a tápterületi határ az egyes szektorok végeit összekötő ív adja meg. Juhász (1987) a meder alatti távolfatás meghatározására nem tér ki. A fenti módon meghatározott hidraulikus perem nagyságát a folyóvízszint és a felszín közeli vízáadó azzal egyszinten lévő vízszintes hidraulikus potenciálfelület határozza meg.



3.6 ábra A parti szűrűsű kút tápterületének lehatárolása (Juhász 1987 nyomán)

A Juhász (1987) által bemutatott módszer bár jó hidraulikai megközelítést alkalmaz, de a többi valós rendszerelemet lehetséges egyszerűsítés nélkül dolgozza fel, ezért végső megoldását tekintve a gyakorlati élet szempontjából túl összetett.

Völgyesi (1993) félkvantitatív módszerrel bemutatja a PS víztermelés hatására a folyó felől származó együttes vízhozam közvetlenül a folyóból és a folyó alatti vízádóból eredő komponenseinek szétválasztási módszerét (3.15). Az általa bevezetett ún. mederkapcsolati hatásfok (MH [%]) százalékos formában fejezi ki a felszíni víz és a felszín közeli vízáadó hidraulikai kapcsolatát. A számításhoz a PS termelőkút folyóra merőleges tengelyében ismerni kell a folyóhatás nélküli *Thiem-féle leszívási görbe* ( $s_L$  [m]) és a víztermelés hatására kialakuló *valós leszívási görbe* ( $s_L$  [m]) által meghatározott vízszint-leszívás értékeket a *valós partélnél* (**3.7 ábra**).

$$MH = \frac{s_D + s_L}{s_D} [\%] \quad (\text{Völgyesi 1993}) \quad (3.15),$$

57



---

A (3.15) kifejezés alapján megállapítható, hogy ha  $s_L = s_D$  [m], a mederkapcsolati hatások 0 %-os, azaz nincs mederkapcsolat, olyan mintha a folyó ott sem lenne a rendszerben, és ekkor arról az oldalról csak a folyó alatti vízádból történik vízutánpótlás a víztermelő kútba. Míg ha  $s_L = 0$  [m], akkor a kapcsolat 100 %-os és ekkor minden a folyó felől érkező víz magából a felszíni víztestből származik (Völgyesi 1993). Valós rendszerek esetén, míg  $MH = 0$  % kis folyók és a PS szempontjából kedvezőtlen földtani felépítés mellett előfordulhat (Völgyesi 1993), addig  $MH = 100$  % nem érhető el, csupán elméleti maximumnak tekinthető.

Völgyesi (1993) szerint  $s_L$  [m] értéke Dupuit-Thiem képlete (Dupuit 1863, Thiem 1906) alapján meghatározható, melyhez ismernünk kell a PS termelőkút  $Q$  [ $m^3/d$ ] hozamhoz tartozó távolhatás mértékét ( $R_P$  [m]). Ezt az idézett szerző tapasztalati képletek, vagy a termelőkúttól a háttér irányába eső figyelőobjektumok vízszint-leszívás adataival Dupuit-Thiem képlete (2) (Dupuit 1863, Thiem 1906) alapján javasolja számítani. Megállapítható, hogy a távolhatás számítására kidolgozott és az egyedi mintaterületeken gyakran nagy bizonytalansági fokkal alkalmazható tapasztalati képletekkel szemben a Dupuit-Thiem-féle módszerrel (2) (Dupuit 1863, Thiem 1906) történő értékelés pontosabb megoldást ad. Ekkor az  $R_P$  [m], majd az  $s_L$  [m] paraméterek számításához ismernünk kell a felszín közeli vízádó szivárgási tényezőjét ( $K$  [m/d]) és vastagságát ( $b$  [m]), melyeket a területen végzett előzetes hidrogeológiai kutatással határozhatunk meg.

Az  $s_D$  [m] vízszint-leszívás értéket Völgyesi (1993) Bochever et al. (1978, 1979) munkái nyomán kifejlesztett számítógépes algoritmusok segítségével kívánja megadni, azonban módszere a közöltek alapján nem reprodukálható. Tapasztalataim szerint  $s_D$  [m] értékét legpontosabban mederszondákban mért vízszint-leszívás adatok Dupuit-Thiem-féle távolság-leszívás elemzésével (Dupuit 1863, Thiem 1906) lehetne meghatározni. Mederszonda-adatok hiányában a PS termelőkút és a valós partél közé telepített potenciométerek vízszint-leszívás adatai is hasonló módon kiértékelhetők.

### 3.5 MEDERKÖZVETÍTŐ RÉTEG HIDRAULIKAI TULAJDONSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A mederfenéken elhelyezkedő *mederközvetítő réteg* vastagságának és szivárgási tényezőjének meghatározási lehetőségét analitikusan Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) vizsgálta. Ezeket az ismeretleneket az idézett szerzők a PS rendszer előzetes hidrogeológiai feldolgozásának hiányában a part menti

leszívást kifejező (ismételten közölt) analitikai módszerükben (3.9) megjelenő, fentebb tárgyalt összetett  $R_1=J_1+J_2$  faktorok segítségével határozzák meg.

$$s_I = \frac{Q}{2\pi K b} \left( \ln \frac{\rho}{r} + R_I \right) \quad (\text{Bochever et al. 1978}) \quad (3.9),$$

ahol:  $R_1=J_1+J_2$  [-];  $J_1$  és  $J_2$  tagok a meder és a vízádó összlet kapcsolatában jelentkező többletellenállás mutatói, a többi kifejezés pedig az (3.5) és (3.6) egyenleteknél közöltekkel azonos.

A számítás nagy bemenő paraméterigénye és összetettsége miatt a szerzők táblázatos formában,  $J_1$ -re és  $J_2$ -re diszkrét bemenő faktorokat közölnek, mely alapján a keresett rétegparmétereket tartalmazó (ismételten közölt)  $\alpha$ -tényező [1/m] (3.10) értéke meghatározható,

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_0}{K_1 b_1 b_0}} \quad (\text{Bochever et al. 1978}) \quad (3.10),$$

ahol:  $\alpha$ : *mederközvetítő rétegre* jellemző mutató [1/m];  $K_0$ : *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : *mederközvetítő réteg* vastagsága [m],  $K_1$ : meder alatti vízádó szivárgási tényezője [m/d];  $b_1$ : meder alatti vízádó vastagsága [m].

Az  $\alpha$ -tényező [1/m] tartalmazza a Hantush (1956, 1960) által félig áteresztő rétegekre meghatározott hidraulikai ellenállást ( $b_0/K_0$  [d]) reciprokok formában ( $K_0/b_0$  [1/d]). Ebből a paraméterből (10) azonban a *mederközvetítő rétegre* jellemző szivárgási tényező érték előzetes rendszerismeret, azaz az érintett rétegek vastagságviszonyainak és a meder alatti vízádó szivárgási tényezőjének ( $K_1$  [m]) ismerete nélkül nem fejezhetők ki.

Ezért véleményem szerint a földtani kép előzetes ismeretére, mely part menti régióra vonatkozóan több számítási módszer esetén a szükséges bemenő adatok szolgáltatásán túl egyszerűsítést, pontosítás lehetőséget jelentene, a meder alatti rétegek analitikai vizsgálata kapcsán is szükség van.

---

### 3.6 AKTÍV MEDERFELÜLET KITERJEDÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A PS vízbázisok mind a háttér, mind a folyó felől sérülékenyek. A folyó felőli védelmük érdekében elengedhetetlen PS kút termelése nyomán a felszíni víztestből történő vízbeszivárgással közvetlenül érintett *aktív mederfelület* kiterjedésének ismerete. Ennek meghatározására mederben történt mérések alapján a USGS (Anonym, 2000) tett kísérletet. Az így nyert adatokat inter- és extrapolációs eljárással szerkesztett térkép segítségével dolgozták fel, melynek a felület szélein és adathiányos területein vélhető bizonytalanságáról az előzőekben már említést tettem, így a módszer mindenképpen ellenőrzésre szorul.

Ezért az érintett mederfelület kiterjedésének meghatározására szükségesnek tartok egy a mederhidraulikai mérési adatokon nyugvó, másféle elvet követő területszámítási módszer kidolgozása és tesztelése. Ilyen, a parti szűréssel közvetlenül érintett mederfelület kiterjedésének pontos meghatározására irányuló analitikai módszerek a nemzetközi és hazai szakirodalomban eddig nem kerültek közlésre.

---

## 4. PARTI SZÜRÉSŰ VÍZTERMELÉS HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA – EGY ÚJ KUTATÁSI MEGKÖZELÍTÉS

A kutatási témát érintő fő kérdéskörök, eddigi ismeretek (3. fejezet) nyomán, a parti szűrésű (PS) víztermelési rendszerek hidraulikai vizsgálatához kialakítandó kutatási megközelítés által megválaszolandó részletes kérdések – a dolgozat célkitűzéseivel (1. fejezet) összhangban – a következők szerint foglalhatók össze.

- Mekkora a termelőkút *háttér irányába kialakuló távolhatása* a part menti régióban?
- Mekkora az elméleti, folyó-hatás nélküli leszívás mértéke a *valós partélnél*?
- Mekkora a PS termelőkút *meder alatti távolhatása*, a termelőkút partéltre merőleges tengelyében, a *kitüntetett szelvényben*?
- Mekkora a *valós leszívás* mértéke a partélnél, a *kitüntetett szelvényben*?
- Milyen alakú és mekkora kiterjedésű az *aktív mederfelület*?
- Hogyan transzformálható a PS rendszer *közelítően tökéletes rendszerré*?
- Szükséges-e megadni és ha igen hova helyezhető a *valós folyóval* – a mederellenállás hatását leszámítva – egyenértékű, hidraulikailag *közelítően tökéletes folyó partéle*, a *hatékony partéle*?
- Szükséges-e megkülönböztetnünk még egy hidraulikai szempontból szintén *közelítően tökéletes folyót* és az ahhoz tartozó *látszólagos partélt*, ha igen, hol jelölhető ez ki?
- Mekkora az aktív folyószakasz hossza a hatékony partélen, az *aktív hatékony partélszakasz*?
- Mekkora a folyó felőli oldalról származó összvízhozam, azaz a felszíni vízből (folyóból) származó beszűrődő vízhozam és a mederanyagból, a folyómeder alatti vízáradóból származó vízhozam együttesen?
- Mekkora a ténylegesen a folyóból és a folyó alatti vízáradóból származó vízhozam nagysága külön-külön?
- Mekkora a folyó, illetve a háttér felől érkező vizek keveredési aránya a PS termelőkútból kitermelt vízben, mi ezek abszolút értéke adott vízhozam mellett?
- Mekkora a parti szűrésű víztermelő kút által okozott hidraulikus depresszió mértéke a kút körüli part menti területeken, adott víztermelési állapot mellett?

- 
- Mekkora a *mederközvetítő réteg* átlagos vastagsága és átlagos szivárgási tényezője?
  - Milyen víztermelő műtárgy-kiképzés és -kiosztás mellett valósítható meg egy adott kialakítandó PS vízbázison a tartósan biztonságos víztermelés mellett a hosszútávon szükséges, előirányzott vízmennyiség folyamatos biztosítása?

A kérdésekben foglaltak meghatározása tudományos és technikai szempontból kihívást jelentő feladat. A kutatást a folyók menti gyakori természetes tranzienst hidraulikai folyamatok, a költségesen meghatározható meder- és rétegadottságok aktuális feltárási foka és a meglévő vízkivételi műtárgyak típusa, száma és elhelyezkedése befolyásolja. Ehhez hozzájárul még, a problémakörre eddig kidolgozott kutatási rész módszerek (**3. fejezet**) többségének szinte kielégíthetetlen bemenő paraméterigénye, gyakorlati szempontból nehézkes alkalmazhatósága, esetleg alkalmazhatatlansága. Továbbá az egyedi kérdésekre fókuszáló rész módszerek rendszervizsgálati szempontból logikusan történő egymásra építésének eddigi hiánya. A kutatást ezen felülhárítható tényező a folyómedrek hidraulikai tökéletlensége, amit az alábbi tényezők valamelyike, vagy azok kombinációja okoz:

- a folyómeder oldala, azaz part közeli mederfelszíne nem függőleges és nem vízrekesztő, hanem kisebb-nagyobb mértékben lejtős és gyengén vízvezető;
- a folyómeder nem teljes vastagságban harántolja a vízádót, vagy egyáltalán nem metsz bele abba, és utóbbi esetben viszonylag vastag, eredendően települő vízlassító rétegen keresztül érvényesül a folyónak a felszín közeli vízádó réteggel való hidraulikai kapcsolata (Völgyesi 1993);
- a folyómeder felszínén vékony vízlassító réteg települ a durvatörmelék mederanyagra, mely a törmelék, illetve biológiai eredetű finomszemcsés hordalék természetes kiülepedésével, vagy biológiai aktivitás révén alakul ki (Gözl et al. 1991, Rákóczi 1997, Schubert 2003);
- a felszíni víz felszín alá történő belépésekor – mederközvetítő réteg hiányában is – fellépő ellenállás.

Az említett okok miatt a vizsgálatok során általában szükséges az egyedi PS vízkivételi rendszerek számítógép alkalmazásával történő numerikus szimulációjának elvégzése. A modellezéshez nélkülözhetetlen bemenő adatok (Pethő et al. 2008

---

(in press)), valamint a kalibráció során felhasznált referencia értékek viszont csakis helyszíni vizsgálatok adataival végzett matematikai számítások alapján nyerhetők, melyek egyúttal a rendszer működésének megértését is elősegítik. Ha az ilyen jellegű kutatások egyes helyszíneken, adott projekt keretében – technikai, pénzügyi, stb. okokból – nem végezhető el, akkor a modellezés bizonytalansági foka növekszik. Ennek mértékét PS típusú területeken végzett és publikált vizsgálatok eredményeinek felhasználásával csökkenthetjük.

Általában a terepi adatokon nyugvó szivárgási feladatok analitikus megoldásakor arra törekszünk, hogy a tényleges mozgástípust különböző feltételekkel, megengedhető mértékben egyszerűsítsük (Tóth 1963, Király 1994) és ezzel a közvetlenül integrálható, párhuzamos, egyenes áramvonalú áramlás jellemzőinek a meghatározására vezessünk vissza (Kovács 1972). Ez a szemlélet a terepen mért adatok viszonylag egyszerű és pontos feldolgozását teszi lehetővé, mellyel a gyakorlati életben felmerülő kérdésekre kielégítően precíz válaszokat adhatunk (Pethő et al. 2004).

Az előzők alapján, véleményem szerint a PS rendszerek kutatásakor egy előkészítő fázisban fel szükséges tární az adott terület hidrogeológiai környezetének hidraulikai aspektusából fontos adottságait, és a kapott eredményekre támaszkodva meg kell határozni a vizsgált rendszer egyszerűsített képét, a *sematikusan leképezett (sematizált) rendszert*, ami a további vizsgálatok alapját fogja képezni (**4.1 és 4.2 ábrák**). A PS rendszer sematikus leképezését a dolgozatban két esettanulmány segítségével mutatom be, ezért jelen fejezetben részleteit nem tárgyalom.

A PS rendszerre fókuszáló, Jelölt által kiegészítő vizsgálati módszerekkel összehangolt és részleteiben pontosított kutatás alap gondolata az, hogy a terepen mért adatok viszonylag egyszerű, egymásra épülő számításokkal feldolgozhatóak legyenek, hogy az ismertetett kérdésekre az így kapott eredményekkel a gyakorlati élet szempontjából kielégítően pontos válaszokat adhassunk, még akkor is, ha a felhasznált eljárás néhány esetben félkvantitatív jellegű.

A vizsgálati módszerek részletes ismertetése előtt a következőket tartom szükségesnek megjegyezni.

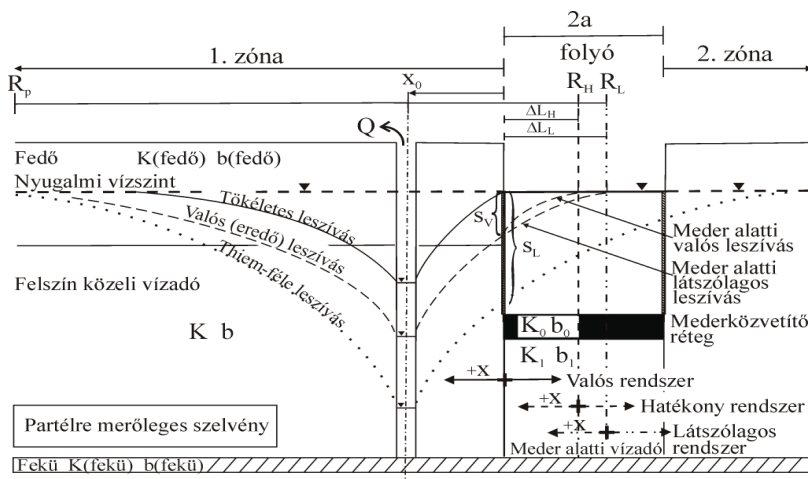
- A számítások kvázi permanens hidraulikai állapotok mellett mért adatokra támaszkodnak.
- A felszín közeli vízádot megcsapoló víztermelő kút depressziós területén, a kialakuló lokális függőleges vízforgalom változása Major (1979) vizsgálatai

---

szerint hatékony csapadék eredetű beszivárgást idéz elő, annak fennállása esetén pedig a beszivárgás növekedése irányába hat. A PS rendszereknél ez a helyi csapadék eredetű beszivárgásból származó víztöbbletet azonban csekély mértékű a folyó, valamint a háttér felől a vízádóból a termelőkhöz folyamatosan érkező több száz-több ezer  $\text{m}^3/\text{d}$  vízmennyiséghez képest, ezért ez hatás vizsgálatoknál elhanyagolhatónak tekintem. (70 m-es átlagos távolhatási sugár és sík, porózus öszlettel fedett területeken igen kedvező, 75 mm/év hatékony beszivárgás (Tóth 1986) mellett: átlagosan 3,2  $\text{m}^3/\text{d}$ , időben egyenetlen eloszlású vízbeszivárgással számolhatunk).

- A kutatási módszertan ismertetése során nem kerül figyelembe vételre az időszakos áradások nyomán, az ártéri vízborítottság idején fellépő koncentrált lokális beszivárgás, mely viszonylag rövid ideig tartó, extrém hidraulikai szituációt jelent.
- Nem képezi kutatásom tárgyát a mélyebb helyzetű vízvezető rétegekből a fekvőn át a felszín közeli vízádó felé esetleg fennálló hidraulikai kapcsolat részletes vizsgálata, mely meghaladná tanulmányom kereteit. Ezt az esetleges többlet vízforrást a vastag vízrekesztő fekvővel határolt, víztermeléssel fenntartott PS rendszerek több száz-több ezer  $\text{m}^3/\text{d}$ -os vízforgalma szempontjából zérusnak tekintem.
- A PS rendszerben végzett hidraulikai vizsgálatok eredményei mindig az adott felszíni vízhőmérséklet mellett értelmezhetők, mivel annak a víz sűrűségét és dinamikus viszkozitását meghatározó értéke a PS mechanizmusában résztvevő felszín alatti közeg szivárgáshidraulikai paramétereire és ezzel a felszín alatti vízáramlásra közvetlen hatással van.
- A vizsgálati módszert Duna-típusú, középszakasz jellegű folyók mentén, pontszerű víztermelés által előidézett parti szűrés (PS) hidraulikai vizsgálatára dolgoztam ki. A Duna-típusú, középszakasz jellegűnek folyók és környezetük PS víztermelés szempontjából lényeges tulajdonságait alábbiakban határozom meg:
  - egyenes szakaszai több (min. 2-3) kilométeres hosszúságúak;
  - kanyarulatai általában enyhék, elnyúlóak;
  - vízzel telített mederszélessége több száz méteres;
  - vízszint-esése mérsékelt (max. 5E-4 m/m);

- mederfenék-felszínének esése folyásirányban mérsékelt (max. 5E-3 m/m);
- 3-30 méter vastagságú durvatörmelékcs mederüledéke van;
- durvatörmelékcs mederüledéke folyamatos átmenettel kapcsolatban áll a part menti felszín közeli vízáddal;
- felszín közeli vízáddal egységes meder alatti vízáddát vízrekesztő aljzat határolja el a mélyebb helyzetű vízvezető rétegektől;
- az év döntő hányadára jellemző természetes hidraulikai szerepe szerint megcsapolja a mérsékelt lejtésű (max: 1E-3 m/m) hidraulikus potenciálfelzínnel rendelkező part menti felszín közeli vízáddát.

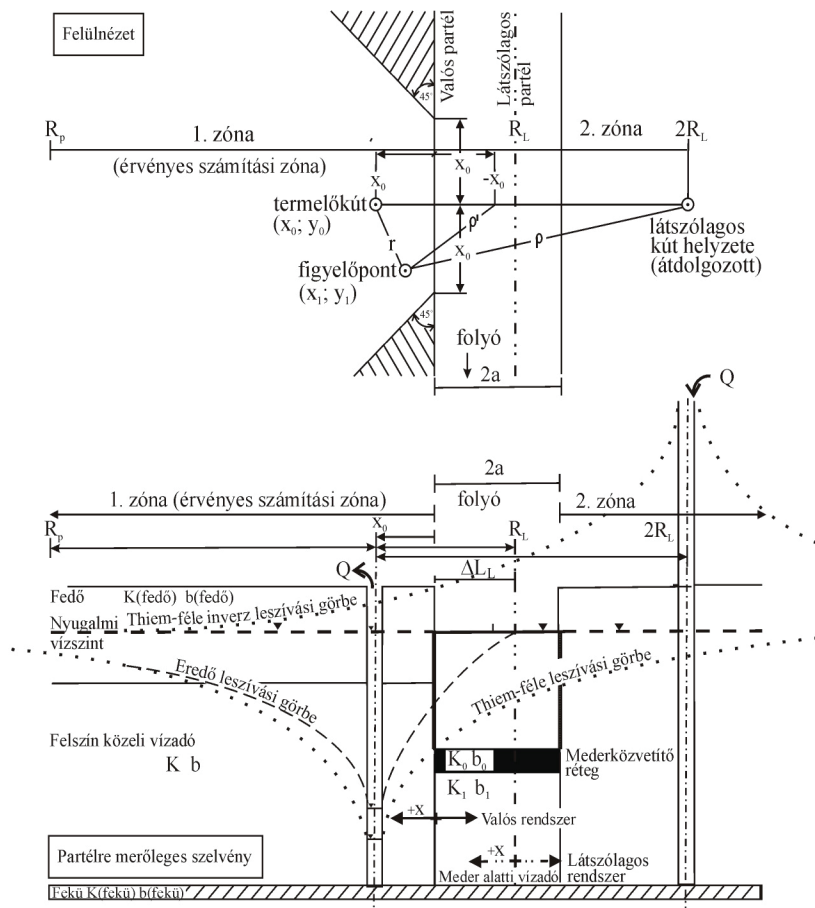


**4.1 ábra** Parti szűrészű víztermelési rendszer sematikus képe a termelőkútán áthaladó, partéle merőleges tengellyel meghatározott kiűntetett szelvényben (Bochever et al. 1979 és Völgyesi 1993 nyomán átdolgozva)

ahol: 1. zóna: víztermeléssel érintett partoldal; 2. zóna: túlpárt; K: vízádd szivárgási tényezője [m/d]; b: vízádd vastagsága [m]; K (fedő): fedő szivárgási tényezője [m/d]; b (fedő): fedő vastagsága [m]; K (fekü): fekü szivárgási tényezője [m/d]; b (fekü): fekü vastagsága [m]; K<sub>l</sub>: meder alatti vízádd szivárgási tényezője [m/d]; b<sub>l</sub>: meder alatti vízádd vastagsága [m]; K<sub>0</sub>: mederközvetítő réteg szivárgási tényezője [m/d]; b<sub>0</sub>: mederközvetítő réteg vastagsága [m]; s<sub>v</sub>: valós vízszint-leszívás a valós partélnél; s<sub>l</sub>: látszólagos vízszint-leszívás a valós partélnél; Q: víztermelési hozam [m<sup>3</sup>/d]; x<sub>0</sub>: termelőkút x-koordinátája (a partéle merőleges kiűntetett szelvényt a derékszögű koordináta-rendszer x-tengelyével megfelleltve: a termelőkút valós partéltől való távolsága); ΔL<sub>H</sub>: valós partél eltolásának mértéke [m] a hatékony meder alatti távlatás (R<sub>H</sub>) [m] alapján; ΔL<sub>L</sub>: valós partél eltolásának mértéke [m] a látszólagos meder alatti távlatás (R<sub>L</sub>) [m] alapján; 2a: folyószélesség [m].



A kutatási módszertan leírása előtt, jelen helyütt, a **4.1** és **4.2 ábrákon** összefoglalásra kerülnek a később tárgyalandó rendszertípusok és rendszerelemek, melyek részletes leírása a a dolgozat végén a „Folyók menti parti szűrészű víztermelési rendszerek elemei – magyarázó szöszedet”-ben is megtalálhatók. Az ábrák jelölései az adott részelemzéseket leíró fejezetek alapján fokozatosan válnak ismertté, de egyes alfejezetekben a tárgyalt rendszerelemek külön ábrákon is kiemelésre kerülnek.



**4.2 ábra** Parti szűrészű víztermeléssel előidézett hidraulikus depresszió alakulásának elvi ábrája a víztermeléssel érintett partoldalon (Rorabaugh 1948, Bochever et al. 1978, Kruseman és De Ridder 1983 és Völgyesi 1993 nyomán átdolgozva)

---

#### 4.1 PARTI SZÜRÉSŰ KÚT VÍZTERMELÉS HATÁSÁRA KIALAKULÓ TÁVOLHATÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA A PART MENTI RÉGIÓBAN

A PS víztermelő kút háttér felé irányuló és – a későbbiekben ismertetett elméleti hidraulikai megfontolások miatt az azzal egyenlő – a part menti régió minden irányába kiterjedő távolhatásának nagysága Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906), fedett víztartókra és permanens hidraulikai viszonyokra vonatkozó számítással (4.1) kerül meghatározásra különböző termelési állapotok mellett:

$$s_{1max}-s_{2max}=\frac{Q}{2\pi Kb}\ln\frac{r_2}{r_1} \quad (\text{Dupuit 1863, Thiem 1906}) \quad (4.1),$$

ahol:  $s_{1max}$ : maximális leszívás nagysága a termelőkúthoz közelebbi figyelőponton [m];  $s_{2max}$ : maximális leszívás nagysága a termelőkúttól távolabbi figyelőponton [m]; Q: víztermelő kút hozama [m<sup>3</sup>/d];  $r_1$ : vízkitermeléshez közelebbi figyelőpont távolsága a termelőkúttól [m];  $r_2$ : vízkitermeléstől távolabbi figyelőpont távolsága a termelőkúttól [m]; K: felszín közeli vízáadó szivárgási tényezője [m/d]; b: felszín közeli vízáadó vastagsága [m].

A (4.1) képlet a termelőkút adott víztermelési hozamhoz tartozó háttér felé irányuló távolhatása ( $R_p=r_2$  [m], ahol  $s=s_{2max}=0$  m), alapján az alábbi (4.2) formába írható át Dupuit (1863) és Thiem (1906) nyomán,

$$s_{1max}=\frac{Q}{2\pi Kb}\ln\frac{R_p}{r_1} \quad (\text{Dupuit 1863, Thiem 1906}) \quad (4.2),$$

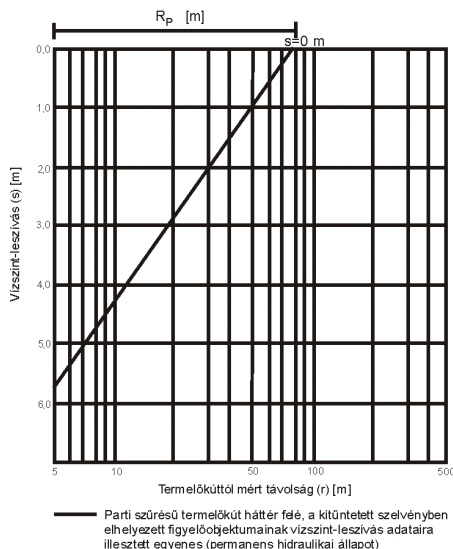
ahol:  $R_p$ : termelőkút adott vízhozamhoz tartozó háttér felé irányuló távolhatása [m] (ezen a körvonalon  $s=s_{2max}=0$  m; a többi tényező az (3.1) képletnél közöltekkel azonos.

A (4.2) egyenlet alapján  $R_p$  értéke a (4.3) kifejezés szerint adható meg Dupuit (1863) és Thiem (1906) nyomán,

$$R_p = r_l * \exp \frac{s_{l \max} 2\pi Kb}{Q}$$

(Dupuit 1863, Thiem 1906) (4.3).

A kiértékelés során a Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) távolság-leszívás grafikus módszer kerül alkalmazásra, mert belőle a PS termelőkút háttértávfolhatása az  $s=0$  m-es vízszint-leszívási ponton könnyen meghatározható. A többi adat előzetes ismeretében a vizsgálat kizárólagos célja a víztermelő kút háttér irányába történő távolthatásának meghatározása. A megoldáshoz szükséges termelőkút középpontú koordináta-rendszerben a távolságra vonatkozó abszcissza-tengely tizesalapú logaritmikussal, a leszívásokra vonatkozó ordináta-tengely aritmetikus léptékű (4.3 ábra).



**4.3 ábra** Távolság-leszívás diagramon, permanens hidraulikai állapotban mért vízszint-leszívás ( $s$  [m]) adatok értékelése a parti szűrészű termelőkút háttértávfolhatásának ( $R_p$  [m]) megállapítására (Dupuit 1863, Thiem 1906 nyomán szerkesztett elvi ábra)

Aktuális folyó-vízállás és -vízhőmérséklet mellett, minimum 3 db figyelmőlponton mért maximális leszívások nagysága alapján, a mérési adatokra legjobban illeszkedő  $\Delta s_{\max}$  meredekségű egyenes abszcisszával alkotott metszéspontja megadja a termelőkút adott víztermelési hozamhoz tartozó távolthatásának mértékét ( $R_p$  [m])

---

(4.1, 4.2 ábrák). A görbe egyenlete alapján meghatározható továbbá a – később tárgyalandó mederkapcsolati hatásfok számításához szükséges – látszólagos (folyóhatás nélküli) leszívás ( $s_L$  [m]) (4.1 ábra) nagysága is a valós partél alatt, a termelőkút rá merőleges tengelyével alkotott metszéspontjában. Megjegyzendő, hogy a távolhatás nagysága a háttér felé eső figyelőpontok (4.1) egyenletbe helyettesített adataival,  $s_{2max}=0$  m mellett,  $r_2$ -re külön-külön megoldva, majd a kapott eredményeket átlagolva pusztán analitikusan is megadható. Ennek ismeretében a kitüntetett szelvényben a partélnél történő leszívás ( $s_L$  [m]) (4.1 ábra) szintén számítható.

A fenti megközelítés véleményem szerint az alábbiak alapján tehető meg PS kutak hidraulikai vizsgálata esetén:

- Adott víztermelés mellett a PS termelőkút távolhatása alá eső megfigyelő objektumokban viszonylag rövid idő alatt, néhány órán, 1-2 napon belül már alig, vagy egyáltalán nem változik a vízszint-leszívás mértéke (3. melléklet 2-10. ábrák, 3. melléklet 33-37. ábrák és 3. melléklet 39. ábra). Ekkor termelőkút körüli víztartó vízközvetítővé válik, és már nem a kút környezetében tározott vizet, hanem a vízáadó távolabbi részeiből (tápterület), a távolhatás peremén ( $R_p$  [m]) túlról származó „végtelen utánpótlódó” készletet termeljük. A PS termelőkút távolhatásának határvonala tehát kijelöli azt az elméleti határt a part menti régióban, ahonnan a termelőkút vízutánpótlása, mint kvázi állandó hidraulikus potenciálú peremből (elterjedt angol kifejezéssel: constant head boundary-ból) táplálkozik (Juhász 1987).
- A PS víztermelés folyamata a fenti feltétel mellett ezért permanens rendszerként értékelhető, és a Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) számítás konstans folyóvízállás mellett helytállóan alkalmazható.
- A PS esetére a parti régióban kialakuló leszívások számítására kidolgozott forrás-nyelő módszerek (Forchheimer 1935, Dietz 1943, Kazmann 1948a, Rorabaugh 1951, Mikelis és Klaer Jr. 1956, Bochever et al. 1978, Bochever et al. 1979) alkalmazásakor belátható, hogy a termelőkút háttér felé történő távolhatására a folyónak már igen csekély a befolyása, gyakorlatilag elhanyagolható. Ennek oka, hogy az ugyanakkora abszolút hozamú, de ellentétes előjelű forrás – mint a folyót helyettesítő látszólagos betápláló kút – háttér irányába történő, vízszintemelő pozitív hatása a termelőkút hatásterületén belül lecseng és ezért a szuperpozíció hatására kialakuló

---

eredő depressziós felület még a termelőkút hatáshatára előtt belesimul annak eredeti depressziós felületébe (4.2 ábra). Ezért a termelőkúttól a háttér felé eső figyelőpontok vízszintadatai alkalmasak a kút távolhatásának elhanyagolhatóan kis hibával terhelt meghatározására.

#### 4.2 PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELŐ KÚT TÁVOLHATÁSÁNAK ÉS A KÚT ÁLTAL OKOZOTT LESZÍVÁS MÉRTÉKÉNEK MEGHATÁROZÁSA A FOLYÓMEDER ALATT

Kazmann (1948a) a parton mért hidraulikai adatokkal kísérletet tett a meder alatti vízszint-leszívás jelenségének meghatározására. Az idézett szerző ismerteti, hogy a folyóhatás miatt a PS kút depressziós felületének lefutása várhatóan nem egyenletes, melynek nyomán a meder alatti valós (későbbiekben: *hatékony*) *távolhatás* ( $R_H$ ) – szerinte – csak becsléssel adható meg (3.3 és 3.4 ábrák).

Kazmann (1948a) munkája alapján, véleményem szerint a folyómeder alatti vízáradásban víztermelés hatására kialakuló valós depressziós felület a felszíni víz több tényezőtől (víztermelés nagysága; víztermelő objektum fajtája és *partétl*ől való távolsága; *mederközvetítő réteg* fejlettsége; mederfal meredeksége; a meder és a kút vízáradó-harántolásának mértéke) függő közvetlen betápláló hatása miatt várhatóan módosul a partoldalon mért adatok alapján meghatározható felülethez képest (4.4 ábra). Ezért a termelőkút által okozott meder alatti *hatékony távolhatás* ( $R_H$ ) mértéke nem számítható kizárólag a parton elhelyezett objektumok vízszint-leszívás adataiból.

Kazmann (1948) eljárása átdolgozva tehát alkalmas két fontos távolság meghatározására, melyek a meder alatt, álláspontom szerint kétféleképpen kijelölhető távolhatás mértékét adják meg.

Véleményem szerint, a PS kút víztermelése nyomán a folyómeder alatt kialakuló *hatékony távolhatás* ( $R_H$  [m]) (4.1 és 4.4 ábrák) nagysága és a meder alatti hidraulikus depresszió mértéke a folyómederben, a termelőkút partéltre merőleges tengelyében kiképzett ideiglenes mederszondák hidraulikai mérési adatain nyugvó számításokkal határozhatók meg. Ezt az indokolja, hogy a parton mért adatok alapján történő meghatározással – permanens PS hidraulikai állapot mellett – nagyobb meder alatti hidraulikus depresszió és meder alatti távolhatás ( $R_H$  [m]) lesz értékelhető (4.4 ábra), mivel a parton már közvetlenül nem érvényesül a mederből történő beszívárgás vízszint-leszívás csökkentő hatása. Ideális esetben a valós partélnél létrejövő *valós leszívás* ( $s_v$  [m]) (4.1 ábra) mértéke is így határozható meg.



(Dupuit 1863, Thiem 1906) távolság-leszívás diagramon kerülnek ábrázolásra. A grafikon tengelyei tehát a Dupuit-Thiem egyenlet megoldáskor a távolság-leszívás kiértékelési módszernél alkalmazott tengelyekkel azonosak: a távolságra vonatkozó abszcissza-tengely tízes alapú logaritmikus, a leszívásokra vonatkozó ordináta-tengely aritmetikus léptékű. Az adatpontokra a fél-logaritmikus koordináta-rendszerben legjobb közelítéssel illeszkedő egyenes egyenlete alapján a meder alatti depressziós felület bármely pontja meghatározható a termelőkúton áthaladó, partélre merőleges kitüntetett szelvényben, így megadható a meder alatti *hatékony távolhatás* ( $R_H$  [m]) (4.1 és 4.4 ábrák), ( $f(x)=0$ ) és a *valós partél* alatti *valós leszívás* ( $s_L$  [m]) (4.1 ábra), ( $f(y)=0$ ) pontos értéke is.

Mederszondák hiányában véleményem szerint a meder alatti valós hidraulikai állapotok nem értékelhetők reálisan. A valós partélen, a part és a vízzel telített meder határvonalán mért vízszint-leszívás ( $s_L$  [m]) speciális helyzetben van. Ez mederhidraulikai adatok hiányában szükség esetén a parton, a termelőkút és a folyó között elhelyezett potenciométerek adataival is meghatározható.

#### 4.3 HATÉKONY PARTÉL HELYZETÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A hidrogeológiai rendszerek – így PS rendszer – hidraulikai vizsgálata legkönnyebben a valós rendszer sematikus leképezésével végezhető el (Tóth 1963, Kovács 1972, Király 1984). Mint a későbbiekben látni fogjuk a meder oldalra és a part területére vonatkozó hidraulikai számítások véleményem szerint kétféle *közelítően tökéletes*, a valós folyóval hidraulikailag egyenértékű *folyó* külön-külön történő meghatározását teszi szükségessé. A transzformált folyók pozícióját a hozzájuk tartozó *másodlagos partél* helyzetének kijelölésével adom meg. Jelen fejezetben a mederoldali vizsgálatok szempontjából későbbiekben szükséges *hatékony partél* meghatározási módját ismertetem.

A *hatékony partél* helyzetének kielégítően pontos kijelölése – a víztermelő kút adott hozama és adott környezeti tényezők mellett a mederszonda-technikával meghatározott aktuális meder alatti *hatékony távolhatás* ( $R_H$ ) (4.4 ábra) ismeretében – a *valós partél* önmagával párhuzamos, folyó irányába történő ( $\Delta L_H$  [m]) nagyságú eltolásával végezhető el, (4.1 ábra) szerint (4.4),

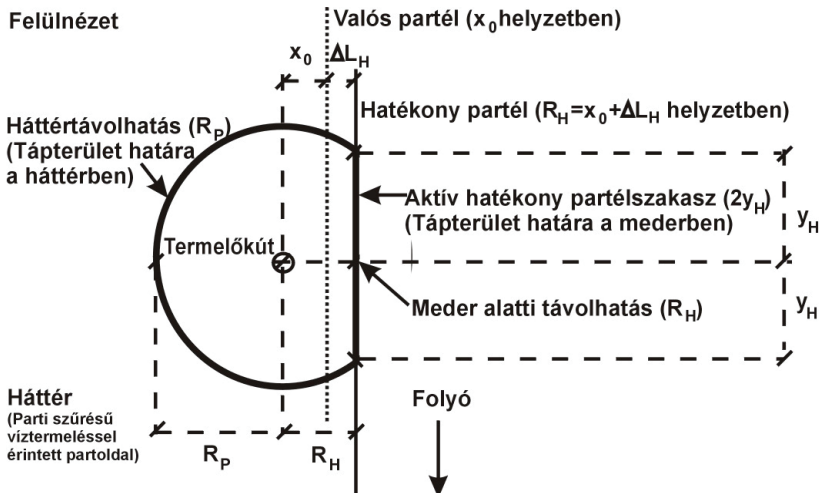
$$\Delta L_H = x_0 \cdot R_H \quad (\text{saját kifejezés}) \quad (4.4).$$

ahol:  $\Delta L_H$ : valós partél meder irányú eltolásának mértéke a hatékony partél helyzetének megállapításához [m];  $R_H$ : parti szűrésű kút valós (hatékony) meder alatti távolhatása [m];  $x_0$ : parti szűrésű kút távolsága a valós partéltől [m].

Az így kapott, a vonatkozó számításoknál y koordináta-tengelyként felhasznált partél ( $y_H$ ) azt a hidraulikailag közelítően tökéletes folyó menti hatékony partét reprezentálja, aminek egy szakasza mentén a valós PS rendszer meder oldali hidraulikai folyamataival egyenértékű hidraulikai folyamatok játszódnak le PS víztermelés esetén.

#### 4.4 AKTÍV FOLYÓSZAKASZ HOSSZÁNAK MEGHATÁROZÁSA A HATÉKONY PARTÉLEN

Az aktív hatékony partél hossza a forrás-nyelő eljárás alkalmazásával (Forchheimer 1935, Dietz 1943), háttéráramlás nélküli, vagy azzal a közelítéssel vizsgálható PS rendszerben elméletileg végtelen hosszúságú (Kovács 1966, Bochever et al. 1979). Belátható azonban, hogy ez a megállapítás sem valós rendszer esetén, sem annak sematikus leképezésekor nem helytálló, hiszen a folyó víztermelő kutat tápláló szerepe egy bizonyos hosszúságú partszakaszon túl nem érvényesül.



4.5 ábra Az aktív hatékony partélszakasz meghatározása, elvi ábra (Juhász 1987 nyomán átdolgozva)



Permanens hidraulikai állapotú PS rendszerben véleményem szerint a megoldást a termelőkút körüli konstans hidraulikus potenciálú határok folytonossága, azaz az egyenlő nagyságú állandó vízszolgáltató peremek összejárása kínálja. Eszerint, a PS termelőkút Dupuit-Thiem-módszerrel (Dupuit 1863, Thiem 1906) a háttér irányába számított távolhatása **(4.1 fejezet)** alapján a part menti régióra ideálisan megállapított  $R_p$  [m] sugarú távolhatási körív kijelöli a háttérben lévő tápterület határát (Juhász 1987). Ennek a körívnek és az adott víztermelési hozamhoz tartozó, a Jelölt által bemutatott módszer **(4.3 fejezet)** szerint meghatározott *hatékony partélnek* a metszéspontjai meghatározzák a hatékony partél aktív szakaszának hosszát ( $2y_H$  [m]) **(4.5 ábra)**, mely Pitagorasz-tétele alapján a (4.5) kifejezés szerint,

$$2y_H = 2\sqrt{R_p^2 - R_H^2} \quad (\text{saját kifejezés}) \quad (4.5),$$

ahol:  $2y_H$ : *aktív hatékony partélszakasz* hossza [m];  $R_p$ : parti szűrésű kút háttértávolhatása [m],  $R_H$ : parti szűrésű kút valós (hatékony) meder alatti távolhatása [m].

A mederszonda-technikával, a Jelölt által ismertetett módszer szerint megállapított helyzetű és hosszúságú *aktív hatékony partélszakaszon* a hidraulikailag közelítően tökéletes folyó felől érkező összes vízhozam konstans hidraulikus potenciál mellett lép be a kutas vízkivétellel előidézett PS rendszerbe. Ez a vízhozam tehát a valós rendszert tekintve ekvivalens a kitermelt vízben a meder alatti vízádóból és közvetve a felszíni víztestből származó vizek együttes mennyiségével.

#### 4.5 FOLYÓ FELŐL SZÁRMAZÓ ÖSSZVÍZHOZAM MEGHATÁROZÁSA

Mint fentebb láttuk, a folyó felőli oldalról a valós PS rendszerbe történő vízbelépés a hatékony partél egy adott hosszúságú szakaszán, állandó hidraulikus potenciál mellett történő vízbelépéssel feleltethető meg. Ez tehát egy összegzett vízmennyiség, ami a valós rendszerben a folyó felől érkező mindkét vízkomponenst, azaz a meder alatti vízádóból, valamint a víztermelés hatására a folyóból származó vizeket együttesen magában foglalja.

---

Első körben következképpen felmerül a kérdés: mekkora a folyó felöl, illetve a háttérból érkező vizek mennyisége, keveredési aránya a kitermelt vízben, adott termelési állapot és környezeti viszonyok mellett. A hidraulikai probléma megközelítésének elvi alapja az, hogy a PS termelőkút környezetét – a változók adott rendszerállapotot jellemző értékei mellett – minden irányból aktuális helyzetű konstans hidraulikus potenciálú peremek zárják le, melyek a kitermelt víz állandó forrásaiként értékelhetők (Juhász 1987). Mivel azonban a határfeltételt az egyik oldalon a transzformát felszíni víztest hatékony partéle, mint egyenes határszakasz képezi, ezért a folyó típusú peremből és a hátér helyzetű hidraulikus ekvipotenciál-peremből származó vízhozam arányának számítása nem végezhető el közvetlenül az ideális radiális áramláson alapuló, permanens felszín alatti hidraulikai állapotot leíró Dupuit-Thiem-féle megoldás (Dupuit 1863, Thiem 1906) szerint.

Vizsgáljuk elsőként a folyó felöl származó összvízhozam meghatározási lehetőségét. Bochever és társai (1979) nagyszámú terepi mérési adaton nyugvó tapasztalati görbe felhasználásával kidolgoztak egy eljárást, melynek segítségével a természetes háttéráramlással nem rendelkező, illetve ezzel a feltétellel vizsgálható Duna-típusú, azaz a vizsgálat szempontjából végtelen széles folyóval táplált PS rendszerek folyó felöl érkező vízhozama meghatározható.

Bochever és társai (1979) az ismertett módszer tárgyalása kapcsán nem térnek ki a hányadosokban szereplő, kalkulációhoz szükséges ismeretlenek, azaz a partélszakasz (Jelölt szerint: *aktív hatékony partélszakasz*) hossza, a számításba vett partél helyzete és az ez alapján történő termelőkút-partél távolság meghatározására sem, így ezeket az előzőekben ismertett módszerfejlesztés révén volt szükséges megadnom.

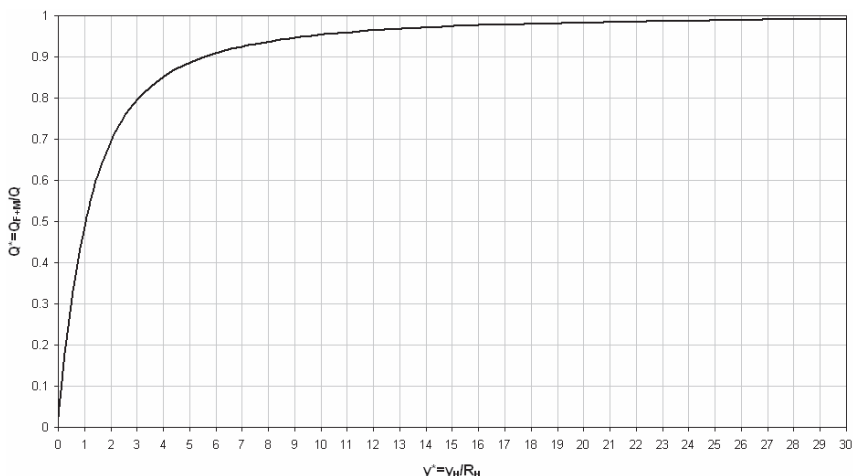
Bochever et al (1979) módszere alapján, a Jelölt módosításával az *aktív hatékony partélszakasz* hosszának fele ( $y_H$  [m]) és a termelőkút *hatékony partétől* való távolságának ( $R_P = x_0 + \Delta L_H$  [m]) **(4.5 ábra)** hányadosa a (4.6) függvénykapcsolattal megfeleltethető a folyó felöl, a felszíni víztestből és a meder alatti vízádból érkező összvízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) és a PS termelőkútból kitermelt teljes vízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) hányadosával **(4.6 ábra)**.

Az aránypárok közötti függvénykapcsolat a (4.6) egyenlettel adható meg, mely Bochever et al. (1979) és Völgyesi I. (2008) nyomán a Jelölt által került pontosan kifejezésre és a PS hidraulikához kapcsolható tartalom nélkül, csupán a Bochever et

al. (1979) által bemutatott tapasztalati görbe egyfajta matematikai leírására szolgál (az egyenletben szereplő változók a **4.6 ábra** jelölései szerint értelmezendők),

$$Q^* = th \frac{\text{arc sinh}(0,85 y^*) + \sqrt{0,085 y^*}}{2} \quad \begin{array}{l} \text{(Bochever et al. 1979 és Völgyesi 2008} \\ \text{nyomán pontosítással átdolgozva} \\ \text{és kifejezve)} \end{array} \quad (4.6),$$

ahol:  $y^*$ : az *aktív hatékony partélszakasz* félhossza ( $y_H$  [m]) és a termelőkút hatékony partétől való távolságának ( $R_H$  [m]) hányadosa:  $y^* = y_H/R_H$ ;  $Q^*$ : a folyó felől érkező összes vízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) és a teljes kitermelt vízhozam ( $Q$  [m<sup>3</sup>/d]) hányadosa:  $Q^* = Q_{F+M}/Q$  és ezzel  $Q_{F+M} = QQ^*$ .



**4.6 ábra** Az aktív hatékony partélszakasz hosszának a fele ( $y_H$ ) és a termelőkút hatékony partétől való távolságának ( $x_0$ ) hányadosa ( $y^*$ ), valamint a folyó felől érkező vízhozam ( $Q_{F+M}$ ) és az összes kitermelt vízhozam ( $Q$ ) hányadosának függvénykapcsolata természetes háttéráramlás nélküli, vagy ezzel a feltétellel közelíthető parti szűrésű víztermelő rendszerekben (Bochever et al. 1979 nyomán Jelölt által módosítva) (ahol:  $y_H$ : aktív hatékony partélszakasz fele [m];  $R_H$ : termelőkút távolsága a hatékony partétől [m];  $Q_{F+M}$ : folyó felől, azaz a folyóból és a folyó alatti vízádból származó együttes vízhozam [m<sup>3</sup>/d];  $Q$ : termelőkút vízhozama [m<sup>3</sup>/d])

A (4.6) kifejezés néhány jellemző értékét az **5. melléklet 1. táblázat** foglalja össze. A (4.6) egyenlet, a tangenshiperbolikus függvény tulajdonságai miatt a  $Q^* = 1$  értéket – amely kizárólagos folyó oldali vízutánpótlódást jelent – csak végtelen hosszúságú *aktív hatékony partélszakasz* mellett veheti fel, amely Kovács (1966) és Bochever et al. (1979) nyomán jól visszaadja a tapasztalati görbét kifejező képlettel

szemben – az alkalmazhatóságon túl – támasztott második elvárásunkat is. Meg kell jegyezem, hogy a különböző PS rendszerek vizsgálata alapján Bochever és társai (1979)  $Q^*$  maximális értékét 0,8-0,85-ben határozzák meg  $y^*$  közelítően pontos (3-4) értéke mellett, ami azt jelenti, hogy a természetes PS rendszerek folyó felőli hozamaránya 80-85 %-ban maximálható.

A bemutatott módszer félkvantitatív jellegű, ezért szükséges annak különböző mintaterületek nagyszámú mérési adattal történő tesztelése, széleskörű alkalmazhatóságának igazolására.

#### 4.6 FOLYÓBÓL ÉS A FOLYÓ ALATTI VÍZADÓBÓL SZÁRMAZÓ VÍZHOZAMOK SZÉTVÁLASZTÁSA

A Völgyesi (1993) által ismertetett félkvantitatív módszer felhasználásával a folyó felől érkező összvízhozam szétválasztható a ténylegesen a felszíni vízből és a meder alatti vízádból származó vizekre. Az ún. mederkapcsolati hatások (MH [%]) százalékos formában fejezi ki a felszíni víz és a felszín közeli vízádó hidraulikai kapcsolatát.

A mederkapcsolati hatások számításához egyrészt szükségünk van a valós partél alatt a termelőkút tengelyében kialakuló *valós leszívás* ( $s_v$  [m]) (4.1 ábra) mértékére. Módszerfejlesztésem nyomán ez az adat – az összetett és sok esetben bizonytalan számítások helyett – az ismertetett mederszonda-technikával pontosan kiszámítható, esetenként közvetlenül mérhető. Másrészt meg kell határoznunk a folyó típusú perem nélküli elméleti, *látszólagos leszívás* ( $s_L$  [m]) (4.1 ábra) nagyságát is ugyanazon  $x=0$ ,  $y=0$  koordinátájú ponton. Ezt a háttér irányába a kitüntetett szelvényben mért, és a Dupuit-Thiem-féle módszerrel (Dupuit 1863, Thiem 1906) kiértékelt vízszint-leszívás ( $s$  [m]) adatok révén meghatározott háttértávolságat ( $R_P$  [m]) (4.1, 4.2 és 4.3 ábrák) alapján definiálom (4.7),

$$s_L = \frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{R_P}{r} \quad \text{Dupuit (1863, Thiem (1906) nyomán } s_L \text{ saját kifejezése) (4.7),}$$

ahol:  $s_L$ : folyóhatás nélküli, Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) leszívás nagysága a valós partél alatt a kitüntetett szelvényben [m];  $Q$ : víztermelő kút hozama [ $m^3/d$ ];  $K$ : felszín közeli vízádó szivárgási tényezője [ $m/d$ ];  $b$ : felszín közeli vízádó vastagsága [m];  $R_P$ : termelőkút adott vízhozamához tartozó háttér felé irányuló távolsága [m];  $r$ :  $x=0$ ,  $y=0$  síkkordinátájú figyelőpont (*valós partél-kitüntetett szelvény* metszéspontjának) távolsága a termelőkúttól [m].

Ezzel az eljárással a folyó közeli helyzetben a betápláló perem által okozott nagymértékű szuperpozíciós hatás – a közvetlen part menti kutak adatainak ez esetben történő figyelmen kívül hagyásával – minimalizálható, gyakorlatilag kiküszöbölhető.

Ezek után a mederkapcsolati hatásfokot (MH [%]) Völgyesi (1993) nyomán a (4.8) arányszámmal kifejezett mederkommunikációs tényező (MH) értékének százalékos formában történő megadásával kapjuk meg (a Jelölt által meghatározott PS nevezéktan alapján az eredeti formában közölt képletben (3.15) szereplő  $s_D$ -tag  $s_L$ -jellel, az eredeti  $s_L$ -tag  $s_V$ -jellel szerepel a (4.8) kifejezésben),

$$MH = \frac{s_L - s_V}{s_L} * 100 [\%] \quad (\text{Völgyesi 1993}) \quad (4.8),$$

ahol: MH: mederkapcsolati hatásfok [%];  $s_L$ : valós partél alatt a termelőkút tengelyében számítható, folyó típusú perem nélküli elméleti, *látszólagos* vízszint-leszívás [m] mértéke;  $s_V$ : *valós partél* alatt a kitüntetett szelvényben kialakuló *valós* vízszint-leszívás mértéke [m].

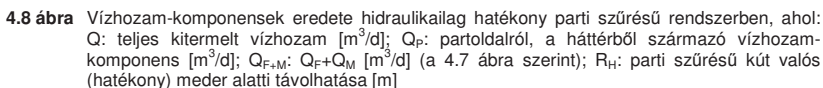
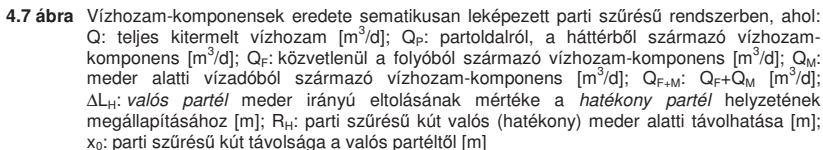
#### 4.7 VÍZKEVEREDÉSI ARÁNY SZÁMÍTÁSA A TERMELŐKÚTBÓL KITERMELT VÍZBEN

A termelőkútból kitermelt víz hozam-komponenseinek, azaz a felszíni víztest (folyó) eredetű komponensnek ( $Q_F$  [m<sup>3</sup>/d]), a meder alatti vízádóból származó komponensnek ( $Q_M$  [m<sup>3</sup>/d]) és a partoldalon, a háttér felé eső felszín közeli vízádóból érkező komponensnek ( $Q_P$  [m<sup>3</sup>/d]) abszolút értékei és keveredési arányai [%] a **4.6** és **4.7 fejezetekben** bemutatott módszerek alapján, és a mért teljes víztermelési hozam ( $Q$  [m<sup>3</sup>/d]) ismeretében kiszámíthatók (4.9),

$$Q = Q_F + Q_M + Q_P \quad [\text{m}^3/\text{d}], \text{ illetve } [\%] \quad (\text{saját kifejezés}) \quad (4.9).$$

ahol:  $Q$ : teljes kitermelt vízhozam [m<sup>3</sup>/d];  $Q_P$ : partoldalról, a háttérből származó vízhozam-komponens [m<sup>3</sup>/d];  $Q_F$ : közvetlenül a folyóból származó vízhozam-komponens [m<sup>3</sup>/d];  $Q_M$ : meder alatti vízádóból származó vízhozam-komponens [m<sup>3</sup>/d].

Az egyes vízhozam-komponensek eredetét a *valós rendszert* helyettesítő *sematikusan leképezett rendszerben* és hidraulikailag *hatékony rendszerben* a **4.7** és **4.8 ábrák** szemléltetik.



---

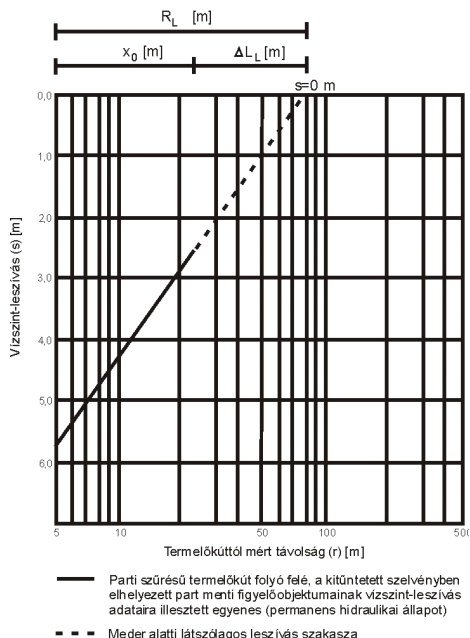
#### 4.8 LÁTSZÓLAGOS PARTÉL HELYZETÉNEK MEGHATÁROZÁSA LÁTSZÓLAGOS MEDER ALATTI TÁVOLHATÁS ALAPJÁN

Mivel a *valós partél* a folyók hidraulikai tökéletlensége miatt nem képez hidraulikai határt a PS rendszerekben, ezért a part menti régióban a felszín közeli vízadóra vonatkozó, forrás-nyelő módszeren (Forchheimer 1935, Dietz 1943, Rorabaugh 1951, Mikelis és Klaer Jr. 1956, Bochever et al. 1978, 1979) alapuló hidraulikai számítások elvégzése – Rorabaugh (1951), Mikelis és Klaer Jr. (1956), Bochever et al. (1978, 1979) munkái nyomán – véleményem szerint egy további, a *hatékony partéltől* eltérő helyzetű *másodlagos partél* meghatározását is szükségessé teszi. Ezzel a *közelítően tökéletes* – a vízadót teljes keresztmetszetében függőlegesen harántoló – *folyóval*, illetve az azt meghatározó, a *valós partéltől* eltérő helyzetű szimmetriatengellyel tudjuk a *valós folyót* a part menti területek hidraulikai kutatása szempontjából is megfelelő módon transzformálni.

A továbbiakban *látszólagos partél* fogalmával megadott tengely helyzetének meghatározása érdekében, a valós partél eltolásának különféle számításokon alapuló mértékét több szerző (Kazmann 1948a, Rorabaugh 1951, Mikelis és Klaer Jr. 1956, Bochever et al. 1978, 1979) is próbálta megadni, illetve becsülni, mely eljárások azonban véleményem szerint nem adnak elfogadható eredményt. Hibájuk, hogy az idézett szerzők által meghatározott, illetve becsült rendszerekben a parton mért vízszint-leszívás adatokra a meder oldali  $s=0$  m kezdőponttal nem illeszthető olyan egyenes az adatkéértékelésre – Kazmann (1948a) nyomán – alkalmas Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) távolság-leszívás diagramon, amellyel hidraulikus depresszió a kitüntetett szelvény egy tetszőleges part menti pontján megadható lenne.

A *hatékony partél* meghatározásához hasonlóan a megoldást itt is a valós hidraulikai mérési adatokon nyugvó számítások kínálják. Ehhez a parton, a termelőkút és a partél között, a *kitüntetett szelvényben* legalább három darab figyelőponton szükséges a vízszint-leszívás adatokat megmérni. Ezek az adatok – a Kazmann (1948a) által ismertetett módszerhez hasonlóan, bár a feldolgozást és értelmezést tekintve attól eltérően – a már többször bemutatott távolság-leszívás típusú diagramon kerülnek ábrázolásra, úgy hogy azokat előtte a folyó közeli régióban általánosan érvényes, folyóvízszinttel meghatározott nyugalmi vízszintre szükséges normálni (4.9 ábra).

Az adatpontokra legjobban illeszkedő egyenessel a felszín közeli vízadó hidraulikus potenciálállapota jellemzően megadható a kitüntetett szelvényében, mely azonban kizárólag a part menti területre lesz érvényes (4.9 ábra). Az egyenes meder alatti meghosszabbított szakaszának a folyóvízzel, mint nyugalmi vízzinttel alkotott metszéspontja ( $s=0$  m) kijelöli a meder alatti látszólagos távolhatás mértékét ( $R_L$  [m]). Véleményem szerint ez az a pont, amely a part menti permanens hidraulikai állapot vizsgálatához szükséges szimmetriatengely helyzetét megadja, hiszen a part menti mérési adatokat, a víztermelési hozamot, a meder geometriai hatását és a mederellenállást is figyelembe vevő módon, aktuális vízzint adatokkal kerül meghatározásra.



**4.9 ábra** Távoltság-leszívás diagramon, permanens hidraulikai állapotban mért vízzint-leszívás ( $s$  [m]) adatok értékelése a parti szűrészű termelőkút meder alatti *látszólagos látszólagos* ( $R_L$  [m]) *távolhatásának* megállapítására (Dupuit 1863, Thiem 1906 és Kazmann 1948a módszerei nyomán módosított elvi ábra) ahol a további jelölések:  $x_0$ : termelőkút – valós parttól távolság [m];  $\Delta L_L$ : valós parttól eltolásának mértéke a meder irányába a látszólagos parttól meghatározásához [m].



A *látszólagos partél* helyzetének kielégítően pontos kijelölése a fenti módon meghatározott aktuális meder alatti *látszólagos távolhatás* ( $R_L$ ) (4.9 ábra) ismeretében a *valós partél* önmagával párhuzamos, folyó irányába történő  $\Delta L_L$  [m] (4.9 ábra) nagyságú eltolásával végezhető el, (4.1 ábra) a (4.10) kifejezés szerint,

$$\Delta L_L = x_0 - R_L \quad (\text{saját kifejezés}) \quad (4.10).$$

ahol:  $\Delta L_L$ : *valós partél* meder irányú eltolásának mértéke a *látszólagos partél* helyzetének megállapításához [m];  $R_L$ : parti szűrésű kút *látszólagos* meder alatti *távolhatása* [m];  $x_0$ : parti szűrésű kút távolsága a *valós partél*től [m].

## 4.9 EGYEDI PARTI SZŰRÉSŰ KÚT DEPRESSZIÓS TERÉNEK SZÁMÍTÁSA A PART MENTI RÉGIÓBAN

### 4.9.1 Bevezetés

Konstans környezeti állapotok mellett a PS vízutánpótlódás viszonylag rövid időn belül, esetenként néhány óra, de legkésőbb 1-2 nap alatt kialakuló "szakaszosan állandó" jellegéből adódóan a rendszer elemzésére alkalmasak a fedett vízádók permanens felszín alatti vízáramlási terét leíró, Dupuit-Thiem-féle egyenleten (Dupuit 1863, Thiem 1870, Thiem 1906) alapuló forrás-nyelő típusú kifejezések (Forchheimer 1935, Dietz 1943, Rorabaugh 1951, Mikels és Klaer Jr. 1956, Bochever et al. 1978, 1979).

A rendszer másik, hidraulikailag eltérő szemléletű leírási módja tranziens, időben változó adatok révén végezhető el, a hidrogeológiai rendszer felépítésétől (fedett, félig fedett, fedetlen vízádó) függően a Theis- (Theis 1936), és a Theis-féle megoldáson alapuló Hantush- (Hantush 1956) és Boulton-féle (Boulton 1963, Boulton 1964) egyenletekből levezetett kifejezésekkel (Hantush 1959, Hantush 1965, Hantush 1966).

Mivel a PS rendszerek a több időpontban megvalósuló, permanensként értékelhető termelési és környezeti állapotok mellett jól és viszonylag egyszerűen vizsgálhatók (Forchheimer 1935, Dietz 1943, Rorabaugh 1951, Mikels és Klaer Jr. 1956, Bochever et al. 1978, Bochever et al. 1979), ezért a part menti hidraulikai depresszió számítására vonatkozó megközelítésemet csak permanens hidraulikai állapotra kidolgozott kifejezéssel ismertetem.

---

A permanens állapotokat összekötő tranziens időszakok alatt a PS rendszer leginkább megbízható bemenő paramétereken és kalibrációs adatokon nyugvó numerikus hidraulikai modellekkel vizsgálhatók. Mindamellett a dolgozatban részfeladatok megoldására, például a parti régióban lévő felszín közeli vízáadó szivárgási tényezőjének meghatározása, illetve a folyó menti hidraulikai viszonyok hosszabb időszakot felölelő elemzésére tranziens időintervallumok adatait is felhasználtam.

A megközelítés bemutatása előtt, jelen helyütt szükségesnek tartom megismételni a fedett víztartók permanens hidraulikus potenciálterére vonatkozó számítási módszer általános feltételeit Dupuit (1863) és Thiem (1906) nyomán:

1. A vízáadó fedett, vízszintes, végtelen kiterjedésű.
2. A vízáadó homogén, izotróp és konstans vastagságú a szivattyúteszt által érintett területen.
3. A szivattyúzás megkezdése előtt a felszín alatti víz potenciometrikus felszíne (közel) vízszintes a szivattyúteszt által érintett területen.
4. A szivattyúzás hozama állandó.
5. A szivattyúzott kút a vízádót teljes vastagságában harántolja, és így azt felülnézetben radiális pályájú felszín alatti vízáramlás révén, szelvényben a teljes vízáadó-vastagságában párhuzamosan futó áramvonalakkal, egyenletesen csapolja meg.
6. A kúthoz történő vízáramlás permanens, azaz a kitermelt víz forrása nem a kút környezete, hanem – konstans hidraulikus emelkedési magasságú peremeken túl – a vízáadó távolabbi részei.

PS rendszerek permanens hidraulikai vizsgálatakor az 1. pontban foglaltakat módosító határfeltételként kell figyelembe venni, hogy:

7. A fedett, vízszintes vízáadó kiterjedése csak a feltér felé végtelen és a PS termelőkút távolhatása által érintett területen belül a felszín közeli vízáadó egy darab, egyenes lefutású, állandó vízszintű utánpótlódási típusú határral (folyóval) harántolt teljes vastagságban (Kruseman és De Ridder 1983).

Ezek a feltételek határozzák meg a PS víztermelés által okozott part menti hidraulikus depresszió számításának keretét.

A Dupui-Thiem (Dupuit 1863, Thiem 1905) egyenleten (4.11) alapuló,

$$s_{1max}-s_{2max}=\frac{Q}{2\pi Kb}\ln\frac{r_2}{r_1} \quad (\text{Dupuit 1863, Thiem 1906}) \quad (4.11),$$

ahol:  $s_{1max}$ : maximális leszívás nagysága a termelőkúthoz közelebbi figyelőponton [m];  $s_{2max}$ : maximális leszívás nagysága a termelőkúttól távolabbi figyelőponton [m]; Q: víztermelő kút hozama [m<sup>3</sup>/d];  $r_1$ : vízkitermeléshez közelebbi,  $x_1, y_1$  síkkoordinátájú figyelőpont távolsága a termelőkúttól [m];  $r_2$ : vízkitermeléstől távolabbi  $x_2, y_2$  síkkoordinátájú figyelőpont távolsága a termelőkúttól [m]; K: felszín közeli vízáradó szivárgási tényezője [m/d]; b: felszín közeli vízáradó vastagsága [m],

Forchheimer (1935) (4.12),

$$s=\frac{Q}{2\pi Kb}\ln\frac{\rho}{r} \quad (\text{Forchheimer 1935}) \quad (4.12),$$

ahol: s: maximális eredő leszívás nagysága egy tetszőleges, a PS termelőkút távolhatása alá eső part menti ponton [m]; r: ugyanazon tetszőleges pont távolsága a termelőkúttól [m];  $\rho$ : a vizsgált pont folyót helyettesítő látszólagos kúttól való távolsága [m]; a képletben szereplő további tényezők az (4.11) képleteknél közeltekkel azonosak,

Dietz (1943) (4.13),

$$s=\frac{Q}{2\pi Kb}G(x,y) \quad (\text{Dietz 1943}) \quad (4.13),$$

ahol: a tényezők jelentését lásd az (4.11) és (4.12) képleteknél,  $G(x,y)$  pedig a (4.14) összefüggés szerint kifejezett,

$$G(x,y)=\ln\sqrt{\frac{(x_1+x_0)^2+(y_1-y_0)^2}{(x_1-x_0)^2+(y_1-y_0)^2}} \quad (\text{Dietz 1943}) \quad (4.14),$$

ahol:  $G(x,y)$ : a Green-függvény; továbbá derékszögű síkkoordináta-rendszerben:  $x_0$ : termelőkút x-koordinátája;  $y_0$ : termelőkút y-koordinátája;  $x_1$ : figyelőkút x-koordinátája;  $y_1$ : figyelőkút y-koordinátája,

---

és később Rorabaugh (1948, 1951), Mikels és Klaer Jr. (1956) (4.15)

$$s = \frac{Q}{2\pi K b} \ln \frac{\sqrt{(r \cdot \sin \beta)^2 + (2D - r \cdot \cos \beta)^2}}{r} \quad (\text{Rorabaugh 1948}) \quad (4.15),$$

ahol:  $[(r \cdot \sin \beta)^2 + (2D - r \cdot \cos \beta)^2]^{1/2} = p$ : látszólagos termelőkút-mérőpont távolság [m];  $\beta$ : termelőkút-mérőpont végpontokkal meghatározott szakasznak a termelőkút folyóra merőleges tengelyével bezárt szöge [fok]; D: Rorabaugh-féle tengely távolsága a termelőkúttól [m]; a további tényezők jelentését lásd az (4.11), (4.12) és (4.13) képleteknél,

által ismertetett megoldások a PS kút depressziós terének számításakor a valós termelőkút tengelyes tükrözésével meghatározott helyzetű látszólagos kút alkalmazásával szimulálják a víztermelésre ható folyó típusú határfeltételt (forrásnyelő módszer). Mivel az idézett szerzők nem határozzák meg kielégítő pontossággal a kút-tükrözéshez használt szimmetria-tengely helyzetét, amellyel a folyó geometriai tökéletlenségei (lejtős mederfal; nem teljes vízadó-harántolás) kiküszöbölhetők lennének, továbbá nem veszik számításba a mederellenállás Kazmann (1948a), Bochever (1968), Bochever et al (1978, 1979) és Völgyesi (1993) munkái nyomán véleményem szerint sem elhanyagolható hatását, ezért az általuk meghatározott módszerek nem adhatnak kielégítően pontos eredmény a part menti leszívás kérdésére vonatkozóan.

#### **4.9.2 Egyszerűsített és pontosított Bochever-Lapsin-féle módszer**

A természetben a folyók medre hidraulikailag nem tökéletes, azaz a lejtős mederfal; a nem teljes vízadó-harántolás; a mederellenállás hatások valamelyike, vagy azok kombinációja érvényesül. Ekkor a part menti vízadót megcsapoló vízkivétel depressziós felülete benyúlik a meder alá és a viszonylag keskenyebb medrű folyók esetén esetleg a víztermeléssel eredendően nem érintett tulsó part alá is kiterjedhet (Bochever et al. 1978, 1979, Völgyesi I 1993). A meder alatti, meder oldali hidraulikai viszonyokat az előzőekben áttekintettük. A következőkben a víztermeléssel érintett partoldal gyakorlatban is jól alkalmazható hidraulikai vizsgálatának lehetőségét ismertetem Bochever-Lapsin (Bochever et al. 1978, 1979)

munkái nyomán, melyeket a a dolgozatban eddig bevezetett hidraulikai mérési-értékelési módszerek révén kívánok egyszerűsíteni és pontosítani. A vizsgálat elvét és az érintett rendszerelemeket a **4.2 ábra** foglalja össze.

A Forchheimer-Dietz-féle megoldásra (4.12, 4.13) épülő Bochever et al. (1978, 1979) által közölt képlet (4.16) már figyelembe veszi azt az esetet, amikor a meder hidraulikai értelemben véve nem teljesen tökéletes, azaz számol a mederellenállás hatásával. A víztermelés által okozott depresszió mértéke a vízkivétel partján (1. zóna (**4.2 ábra**)) ( $s$  [m]) egy vizsgált ponton, Bochever-Lapsin képletével (4.16):

$$s = \frac{Q}{2\pi Kb} \left( \ln \frac{\rho}{r} + R_1 \right) \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.16),$$

a vízkivétellel átellenes parton (2. zóna (**4.2 ábra**)) ( $s$  [m]) pedig (4.17):

$$s = \frac{Q}{2\pi Kb} R_2 \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.17),$$

A fenti (4.16, 4.17) összefüggésekben:  $\rho = [(x_1 + x_w)^2 + (y_1 - y_w)^2]^{1/2}$  [m];  $r = [(x_1 - x_w)^2 + (y_1 - y_w)^2]^{1/2}$  [m] (ahol:  $x_1$ ,  $y_1$  a vizsgált pont koordinátái [m], és  $x_0$ ,  $y_0$  a termelőkút koordinátái [m]);  $R_1 = J_1 + J_2$  (-);  $R_2 = J_1 - J_2$  (-);  $J_1$  és  $J_2$  tagok a meder és a vízáadó összetett kapcsolatában jelentkező többletellenállás mutatói, a többi kifejezés pedig az (4.11, 4.12, 4.13) egyenletnél közltekkel azonos. Az  $\ln(\rho/r)$  tag a Dietz-féle egyenletben (4.13) szereplő Green-féle függvényt (4.14) fejezi ki.

$J_1$  és  $J_2$  összetett függvények, jellemző diszkrét értékeit a hivatkozott szakirodalmak táblázatos formában közlik a vízfolyástól, illetve a vízkivételtől való távolság, a mederszélesség, valamint a *meder* alatti *közvetítő rétegre* és a meder alatti vízádóra együttesen jellemző mutató (4.18) függvényében, mely utóbbi:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_0}{K_1 b_1 b_0}} \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.18),$$

ahol:  $\alpha$ : *mederközvetítő rétegre* jellemző mutató [1/m];  $K_0$ : *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : *mederközvetítő réteg* vastagsága [m],  $K_1$ : meder alatti vízáadó szivárgási tényezője [m/d];  $b_1$ : meder alatti vízáadó vastagsága [m] (**4.2 ábra**).

Jelentős mederszélesség és gyenge kolmatáció, illetve a közvetítő réteg mérsékelten kicsi szivárgási tényezője esetén, vagyis a (4.19) kifejezés szerint, ha:

$$\alpha a > 0,1 \quad (\text{Bochever et al. 1978}) \quad (4.19),$$

ahol:  $\alpha$ : a (4.18) kifejezés szerint értelmezett változó;  $a$ : vízzel telt mederszélesség (2a) fele [m] (**4.1 és 4.2 ábrák**),

a hidraulikai értelemben véve nem tökéletes meder esetén is a depresszió mértéke gyakorlatilag elhanyagolható a vízkivétellel átellenes parton, Duna-típusú folyók esetén pedig nullával egyenlő. Ekkor a (4.17) egyenlet szerint  $s_2=0$ , azaz  $R_2=J_1-J_2=0$ , ezért  $J_1=J_2=J$ . A folyó vízkivétellel érintett oldalán a leszívást jellemző (4.16) egyenletben tehát  $R_1=J_1+J_2=2J$ .

$R_1=2J$  paraméter értéke a definíciójából adódóan a figyelőpontok helyzete függvényében változó, mely a  $J$  paraméter táblázatos diszkrét függvényértékei, vagy a rá vonatkozó nagy bemenő adat igényű, összetett függvényekkel gyakran nem, vagy esetleg csak igen bonyolultan adható meg.

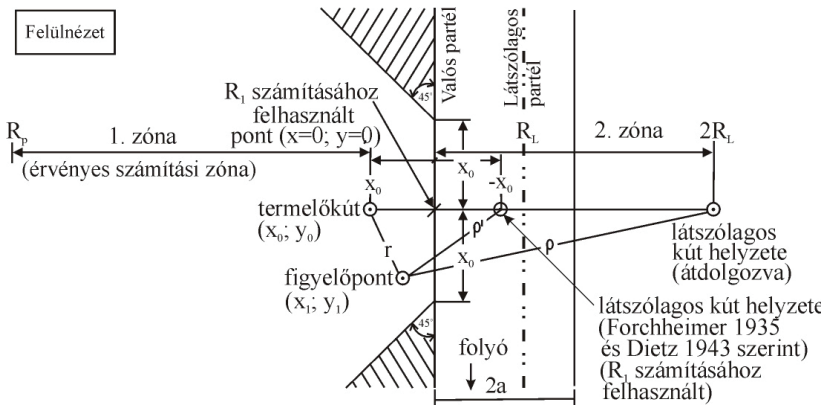
A kidolgozott módszer szerint, a megoldás egyszerűsítése kapcsán  $R_1$  paraméter – és ezzel az  $\alpha$ -paraméter, valamint az azt meghatározó rétegparaméterek további ismeretlen (lásd: 4.18) értékei – egy kitüntetett pontban, a termelőkúton áthaladó, partélre merőleges egyenes és a valós partél metszéspontjában ( $x=0$ ,  $y=0$ ) kielégítő pontossággal megadhatók. Ezen a ponton a (4.16) kifejezésben a valós partélre vonatkoztatott  $\ln(p'/r)=0$ ,  $p'/r=1$  értéke miatt (**4.10 ábra**), ezért  $R_1$ -re az alábbi (4.20) összefüggés írható fel,

$$R_1 = s_v \frac{2\pi K b}{Q} \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979 nyomán } R_1 \text{ saját kifejezése}) \quad (4.20),$$

ahol:  $R_1$ : mederellenállást magában foglaló faktor;  $s$ : *valós partél* kitüntetett szelvénnel alkotott metszéspontjában ( $x=0$ ;  $y=0$ ) mederszondákkal (szükség esetén part oldali potenciométerekkel) meghatározott vízszint-leszívás [m];  $s_v$ : vízszint-leszívás a *valós partélnél* [m];  $K$ : felszín közeli vízáadó szivárgási tényezője [m/d];  $b$ : felszín közeli vízáadó vastagsága [m];  $Q$ : parti szűrésű kút aktuális vízhozama [m<sup>3</sup>/d].

$R_1$ -paraméter számításához (4.20) a mederszondák, vagy szükség esetén a part menti potenciométerek vízszint adatai alapján a *valós partéltre* meghatározott vízszint-leszívás adat (s) (4.1 ábra) és a (4.20) kifejezésben szereplő többi, előzetes vízföldtani kutatással meghatározott paraméter (Q; K; b) ismerete szükséges.

A közölt (4.20) egyszerűsítő számítás annak tudatában végezhető el, hogy a *valós partéltre*, mint számítási szimmetria-tengellyel történő vízszint-leszívás érték meghatározása (Forchheimer-Dietz-féle (Forchheimer 1935, Dietz 1943) megoldás) kismértékű hibával terhelt, mivel ekkor a folyót hidraulikailag helyettesítő látszólagos kút véleményem szerint nem esik pontosan a helyére (4.10 ábra).



**4.10 ábra** A mederellenállását kifejező  $R_1$ -faktor (Bochever et al. 1978, 1979) számításához felhasznált parti szűrészű rendszerelemek (Bochever et al. 1978 és Kruseman és De Ridder 1983 nyomán átdolgozva); ahol:  $2a$ : folyószélesség [m];  $r$ : termelőkút – figyelőpont távolság [m];  $\rho$ : látszólagos termelőkút – figyelőpont távolság [m];  $\rho'$ : Forchheimer-Dietz-féle látszólagos termelőkút – figyelőpont távolság [m];  $x_0$ : termelőkút – valós partél távolság [m];  $R_P$ : termelőkút partoldali távolsága [m];  $R_L$ : termelőkút meder alatti látszólagos távolsága [m].

$R_1$ -paraméter *valós partéltre* vonatkozó,  $x=0; y=0$  ponton történő meghatározása után az alábbiak szerint mód nyílik  $\alpha$ -mutató értékének meghatározására is.

A (4.18) kifejezésben ismertetett  $\alpha$ -mutató a (4.21),  $x'$  összetett paramétert meghatározó egyenletben (Bochever et al. 1978, 1979) szintén szerepel, ami a folyó vízkivételi oldalán az alábbiak szerint adható meg,

$$x' = \alpha(x + x_0) \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.21),$$

ahol:  $\alpha$ : (4.18) kifejezésben szereplő, *mederközvetítő* és meder alatti vízáadó rétegekre együttesen jellemző mutató [1/m];  $x$ : vizsgált pont *valós partétől* való távolsága [m] (a partélen:  $x=0$  m);  $x_0$ : termelőkút *valós partétől* való távolsága [m].

Az  $x^-$  paraméter a vízfolyástól és a vízkivételtől való távolságot, valamint a mederközvetítő réteg és a meder alatti vízáadó hidraulikai és geometriai tulajdonságait egyesíti, és  $J_1, J_2$  ( $J_1+J_2=2J=R_1$ ) függvények meghatározásához szükséges.

A széles, kis mederellenállású (Duna típusú) folyók ( $\alpha > 0,1$ ) esetén, ahol a depresszió nem terjed át a vízkivétellel szemközti partra, az  $R_1$  és az  $x^-$  paraméterek között viszonylag egyszerűbb összefüggés (4.22) áll fenn a termelőkúton áthaladó, folyóra merőlegesen kitüntetett szelvényben (Bochever 1968),

$$R_1 = -2e^{x^-} Ei(-x^-) \quad (\text{Bochever 1968}) \quad (4.22),$$

ahol:  $R_1$  a fent tárgyaltak,  $x^-$  pedig a (14) kifejezés alapján értelmezhető;  $-Ei(-x^-)$ : integrál exponenciális függvény (értékei a Theis-féle kútfüggvénnyel azonosak).

A (4.22) kifejezés és ezzel  $x^-$  számításának egyszerűsítése érdekében Bochever (1968) nyomán, bővített adatállománnyal, táblázatos formában összefoglalom az  $R_1$ -paraméter diszkrét értékeit  $x^-$  függvényében (**5. melléklet 2. táblázat**). Az így kapott  $x^-$  értékkel ezek után az  $-Ei(-x^-)$  függvény értéke is megadható. A számítás további gyorsítása érdekében az **5. melléklet 3. táblázatban** közlöm  $-Ei(-x^-)$  függvény  $x^-$  szerint táblázatos értékeit is. Az  $x^-$  alapján megadott  $-Ei(-x^-)$  függvény értékkel a (4.22) számítás ellenőrizhető. Ha  $x^-$  diszkrét értékei miatt az  $R_1$ -paraméter  $x=0, y=0$  helyen felvett, és a (4.20) kifejezés alapján előzetesen ismert eredeti értéke ettől eltér, akkor az  $x^-$  paraméter finom változtatásával mód nyílik  $-Ei(-x^-)$  függvény értékének pontosítására (**5. melléklet 3. táblázat**) és így  $x^-$  értéke iterációval, kellő pontossággal meghatározható.

Ezek után az adott környezeti állapotú rendszerre,  $x^-$  paraméter ismeretében, az  $x=0, y=0$  kitüntetett ponton  $\alpha$ -mutató értéke, az  $R_1$  és  $x_0$  ismert értékek alapján a (4.23) összefüggés alapján kiszámítható,

$$\alpha = \frac{x^-}{x_0} \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979 nyomán kifejezve}) \quad (4.23),$$

ahol:  $\alpha$ : a 4.18, míg  $x^-$ : a 4.21 kifejezés szerint értelmezett;  $x_0$ : termelőkút – való parttól távolság [m].



---

Megjegyzendő, hogy  $\alpha$ -paraméter értéke a (4.18) kifejezés alapján elméletileg állandó, azonban mint később látni fogjuk, a mederközvetítő réteg térbeli változékonysága miatt mégis változhat, hiszen annak felülete eltérő folyóvízállás és termelési hozam mellett más-más kiterjedésben érintett. Az  $\alpha$ -mutató értékében változást okozhat a szivárgási tényező értékének a felszíni víz hőmérséklet-változását követő módosulása is.

A továbbiakban egyszerűsítsük a rendszert. A látszólagos partéllal, mint új szimmetria-tengellyel ( $y_L$ ) jellemezhető transzformált rendszerben (**4.2 és 4.10 ábrák**) a medergeometriai tényezők kiküszöbölése után már csak a mederellenállás hatása szerepel, amit (4.16) egyenletben Bochever et al (1978, 1979) nyomán az  $R_1$  paraméter figyelőpontonként aktualizált értéke fejez ki. A (4.23) kifejezés szerint aktuálisan meghatározott  $\alpha$ -értékkel az aktuális látszólagos meder alatti távolhatással ( $R_L$  [m]) megadott  $y_L$  koordináta-tengelyű PS rendszerben a (4.20) és (4.22) egyenletek felhasználásával  $x'$ , majd  $R_1$  értéke bármely  $x=x_1$ ,  $y=0$  pontra meghatározható, továbbá a látszólagos partél alapján  $\ln(p/r)$  aktuális pontos értéke is megadható. Ezzel, az összes szükséges paraméter birtokában, a (4.16) egyenlet alapján bármely part menti pontra vonatkozó leszívás értéke meghatározható a szivattyúzással érintett partoldalon a kitüntetett szelvényben.

Megjegyzendő, hogy Bochever (1968) és Bochever et al. (1978) szerint a (4.22) egyenlet, és ezzel a Jelölt által továbbfejlesztett és egyszerűsített megoldás is az  $y=\pm x_0$  pontokról kiinduló, a valós partéllal  $45^\circ$ -os szöget bezáró egyenesekkel lehatárolható part menti területrésze (**4.2 és 4.10 ábrák**), azaz gyakorlatilag a termelőkút távolhatási zónájára nagyon jó közelítéssel szintén alkalmazható, ami a PS rendszer szempontjából kielégítően pontos eredményt szolgáltató vízszintleszívás-számítás nagyfokú egyszerűsítését jelenti.

Jelen helyütt ismét szükségesnek tartom kiemelni, hogy az itt közölt módszerrel meghatározható leszívások a *valós*, vagy az azzal egyenértékű *sematikusan leképezett rendszer*  $y \geq 0$  tartományra, azaz kizárólag a *valós partélre*, illetve a partélen túl elterülő part menti zónára érvényesek, a meder alatti részekre a közvetlen folyóvíz-betáplálás hatására módosult depressziós felület miatt azonban nem.

---

#### 4.10 MEDERKÖZVETÍTŐ RÉTEG FÜGGŐLEGES HIDRAULIKAI ELLENÁLLÁSA

Az  $\alpha$ -paraméter a (4.18) kifejezés szerint,  $\sqrt{\frac{K_0}{b_0}}$  formában ( $K_0$ : mederközvetítő réteg átlagos szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : mederközvetítő réteg átlagos vastagsága [m]) tartalmazza a mederközvetítő réteg hidrogeológiai szempontból fontos fizikai paramétereinek átlagos értékeit. Ezeket a paramétereket az  $\alpha$ -mutató Jelölt által bemutatott egyszerűsített meghatározása (4.18) nyomán, valamint a meder alatti vízáradó  $K_1$  és  $b_1$  paramétereinek ( $K_1$ : meder alatti vízáradó szivárgási tényezője [m/d];  $b_1$ : meder alatti vízáradó vastagsága [m]) előzetes kutatásokkal definiált adataival a (4.24) egyenlet alapján  $1/c_0$  formában összegezhettük,

$$1/c_0 = K_0/b_0 = \alpha^2 K_1 b_1 \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.24).$$

Az  $1/c_0$  [1/d] kifejezés pedig nem más, mint az eltömődött-kiülepedett mederfenékréteg hidraulikai ellenállásának reciproka (Bochever et al. 1978, 1979). A féligáteresztő *mederközvetítő rétegre* jellemző hidraulikai ellenállás ( $c_0$ ) [d] (Hantush 1956, 1960) pedig a (4.25) egyenlet szerint,

$$c_0 = b_0/K_0 \quad (\text{Hantush 1956, 1960}) \quad (4.25).$$

#### 4.11 MEDERKÖZVETÍTŐ RÉTEG VASTAGSÁGI VISZONYAI, SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐJÉNEK SZÉLSŐÉRTÉKEI

A Duna, és a hozzá hasonló adottságokkal rendelkező Rajna medrében végzett nagyszámú kutatás (Rákóczi 1997, Schubert 2003 és Rück 2007) tapasztalatai alapján a durvatörmelék mederanyagot 0,1-1 m vastagságú eltömődött-kiülepedett réteg határolja el a folyó vizétől a mederfenéken. Ez a réteg a kőzetek fizikai mállásával és az apró szervezetek elhalásával biológiai úton keletkezett finomszemcsés lebegtetett hordalék kiülepedésével, majd szuffúziójával, azaz az áradási-apadási események hatására a meder anyagába történő migrálásával, és/vagy kolmatációval, a víztermelés szívó hatására történő hasonló jellegű folyamat révén jön létre. Javaslatom szerint összefoglaló néven *mederközvetítő rétegnek* nevezhető egység fejlettségét a mederfenéken zajló időszakos biológiai aktivitás,

például melegebb időszakban az algaliszónyeg-burjánzás erősítheti, míg a jelentősebb áradások nyomán megnövekvő eróziós hatás gyengítheti. Sőt előfordul, hogy egy adott vízmű előtt ezt a vékony, gyenge hidraulikus vezetőképességű réteget esetenként mederfelületi kotrással lazítják fel. A fentiekből látható, hogy a természetes fizikai és biológiai faktorok, valamint az antropogén hatások miatt ennek a rétegnek a jellege és vastagsága térben és időben sem állandó, ezért a PS folyamatát befolyásoló fizikai paraméterei (szivárgási tényező, vastagság) véleményem szerint csak szélsőértékekkel adhatók meg.

A *mederközvetítő réteg* általánosan jellemző vastagsági szélsőértékei (0,1-1 m), illetve átlagos vastagsága (0,5 m), valamint, az  $1/c_0$ , vagy  $c_0$  paramétereket kifejező (4.23), (4.24) – az  $\alpha$ -paraméter meghatározását tekintve a Jelölt által egyszerűsített – összefüggések alapján a *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője ( $K_0$  [m/d]) a (4.26) kifejezés szerint adható meg.

$$K_0 = b_0 \alpha^2 K_1 B_1 = b_0 / c_0 \quad (\text{Hantush 1956, 1960 és Bochever et al. 1978, 1979 nyomán kifejezve}) \quad (4.26).$$

ahol:  $K_0$ : mederközvetítő réteg átlagos szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : mederközvetítő réteg általánosan jellemző vastagsági szélsőértékei (0,1-1 m), illetve átlagos vastagsága (0,5 m) [m];  $c_0$ : *mederközvetítő réteg* hidraulikus ellenállása [d].

#### 4.12 AKTÍV MEDERFELÜLET KITERJEDÉSÉNEK SZÁMÍTÁSA

A USGS (Anonym, 2000) Ohio folyón, hajóról végzett mederszondás kutatás eredményei rámutatnak, hogy a meder alatti depressziós tér felszíni vetülete hozzávetőlegesen egy tengelyesen szimmetrikus, egy ívvel és egy egyenes szakasszal (valós partél) lehatárolható síkidommal közelíthető. Ezt a képet a sematizált PS rendszer permanens hidraulikai állapotának értékelésekor elméleti megfontolások is alátámasztják, miszerint a kúthoz minden irányból radiális pályákon érkezik a víz a felszín közeli vízádóból. Azonban a folyóhatás miatt a mederoldali síkidom nem lehet kiegészítője a part oldalán, a Dupuit-Thiem-féle távolhatás módszerével (Dupuit 1863, Thiem 1906) meghatározott körszeletnek, mivel az extra vízbetáplálás miatt az mindenképpen kisebb a kiegészítő körszeletnél.

Ennek az aktív mederfelületnek a kiterjedése véleményem szerint a folyóból történő vízbeszivárgás, a mederközzvetítő réteg szivárgási tényezője, valamint a meder alatti átlagos hidraulikus gradiens ismeretében határozható meg.

Mivel az egyszerűsített PS vízáramlási térben a mederközzvetítő réteg a félig fedett rétegzett vízáadó rendszereknél előforduló féligáteresztő réteg szerepét tölti be, ezért benne a felszín alatti vízáramlás matematikailag függőleges vízmozgással közelíthető (Bochever 1968, Bochever et al. 1978, Bochever et al. 1978, Székely 1981, Aujeszky 1985, Völgyesi 1993) **(4.7 ábra)**. Így a közvetlenül a folyóból származó vízhozam nagyságának ( $Q_F$  [ $m^3/d$ ]) (Jelölt által ismertett módszerrel meghatározott), a mederalászívás átlagos mértéke által meghatározott meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbségnek ( $dh_A$  [m]), valamint a mederközzvetítő réteg vastagsága ( $b_0=dl$  [m]) és szivárgási tényezője ( $K_0$  [m/d]) hányadosának, azaz  $c_0$  paraméternek (Jelölt által ismertett módszerrel meghatározott) ismeretében, Darcy (1856) nyomán (4.27) az aktív mederfelület kiterjedése ( $A$  [ $m^2$ ]) megadható (4.28):

$$Q_F = -AK_0 \frac{dh_A}{dl} \quad (\text{Darcy 1856}) \quad (4.27),$$

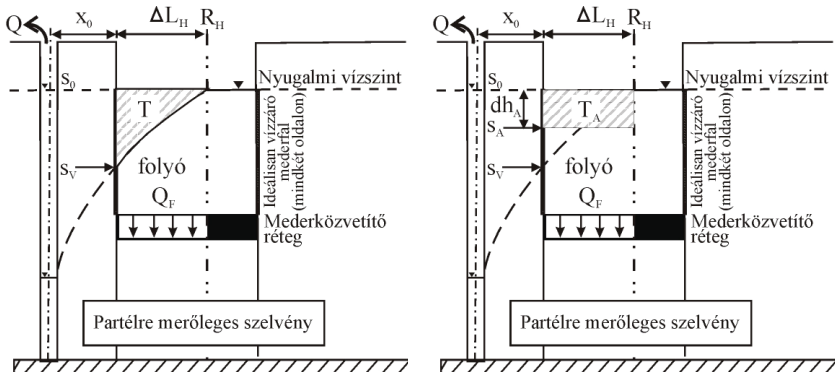
$$A = -\frac{Q_F}{dh_A} c_0 \quad (\text{Darcy 1856 és Hantush 1956, 1960 nyomán kifejezve}) \quad (4.28).$$

A (4.28) egyenletben a kérdéses terület ( $A$  [ $m^2$ ]) mellett a meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbség ( $dh_A$  [m]) nagysága sem ismert a Jelölt által az előzőekben bemutatott vizsgálatok, számítások alapján.

A meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbség ( $dh_A$  [m]) mértékét a *kitüntetett szelvényben* határozom meg a következő módon **(4.11 ábra)**:

- vegyük föl a termelőkút középpontja által meghatározott origójú derékszögű koordináta-rendszert, melyben az x koordináta-tengely a partélre merőleges;
- az x koordináta-tengely menti kitüntetett szelvényben integráljuk a hidraulikus depressziós tölcser természetes alapú logaritmusfüggvénnyel leírható meder alatti görbeszakaszát, a valós és a hatékony partél között;
  - a görbét leíró függvény értelmezési tartományának határai:  $x=x_0$  és  $x=R_H$ ;

- az értékelő távolság-leszívás diagramokon a meder alatti vízszint-leszívás pontokra illeszthető görbe leíró függvénye:  $y_M = -p \cdot \ln(x) + C_M$  alakú;
- az alkalmazandó integrálási szabályok ( $x$ : változó;  $f(x)$  és  $g(x)$ :  $x$  különböző függvényei;  $\ln(x)$ :  $x$  természetes alapú logaritmusa;  $C$ : állandó, mely a megoldásban  $C=0$ ):
  - $\int [f(x) \pm g(x)] dx = \int f(x) dx \pm \int g(x) dx$
  - $\int c f(x) dx = c \int f(x) dx$
  - $\int \ln(x) dx = x \ln(x) - x + C$
- az integrálással számított  $T$  [m<sup>2</sup>] terület egyenlő nagyságú annak az átlagos hidraulikus potenciálkülönbséget szimbolizáló téglalapnak a  $T_A$  [m<sup>2</sup>] területével ( $T = T_A$  [m<sup>2</sup>]), melynek oldalai:
  - $\Delta L_H = R_H - x_0$  [m], azaz a meder alatti távolhatás és a valós partél  $x$  koordinátáinak különbsége által meghatározott, integráláskor figyelembe vett szakasz; ami nem más, mint a valós partél eltolásánál figyelembe vett távolság mértéke a hatékony partél helyzetének meghatározásakor, és
  - $s_A$  [m], azaz az átlagos leszívás nagysága;
- ezt követően  $|s_0 - s_A| = dh_A$  [m] alapján a meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbség  $dh_A$  [m] nagysága megadható (4.11 ábra).



**4.11 ábra** Meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbség ( $dh_A$ ) meghatározása; ahol:  $Q$ : víztermelési hozam [m<sup>3</sup>/d];  $Q_F$ : folyóból közvetlenül beszívargó vízhozam-komponens [m<sup>3</sup>/d];  $x_0$ : termelőtől – valós partél távolság [m];  $\Delta L_H$ : hatékony partél eltolásának mértéke [m];  $R_H$ : hatékony meder alatti távolhatás;  $s_0$ : leszívás nyugalmi állapotban (0) [m];  $s_v$ : valós leszívás a valós partél alatt [m];  $s_A$ : átlagos meder alatti leszívás [m];  $dh_A$ : meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbség [m]

A PS rendszerek jellemzésekor eltekintek attól az esettől, amikor a vízzel borított meder alatt, az alászívás mértékétől függően a valóságban kis felszíni vetülettel jellemezhető háromfázisú zóna is kialakul, mely zónában a felszín alatti hidraulikus potenciáltértől független, a rétegparaméterek mellett csak a folyó vízoszlop-magassága által kontrollált esőzés-szerű felszín alatti vízmozgás valósul meg (Bochever 1968, Bochever et al. 1978, Aujeszky 1985). Ez a hatás valós rendszerekben normál víztermelés mellett az aktív mederfelület szűk, part közeli területén lép, illetve léphet föl. Sematikusan leképezett rendszereknél a meder a valós partélnél függőleges oldalfalú, mélysége azonos annak többi részeivel, így, ilyen felszín alatti eső-szerű vízszivárgást tápláló felület kialakulására gyakorlatilag nincs lehetőség. Ekkor úgy tekinthető, hogy a valóságban esetleg ilyen módon a felszín alá belépő csekély vízmennyiség a mederfenéken hidraulikailag folytonos módon belépő vízmennyiséggel ( $Q_F$  [m]) összegződik (4.11 ábra). A folyókból háromfázisú zónán keresztül történő felszín alatti vízkészlet-táplálás véleményem szerint csak túlterhelt PS rendszereknél; vastag vízádon folyó kisebb vízfolyások kapcsán; eredendően jelentősebb vastagságban települő rossz vízvezető képességű mederfenékréteg jelenlétekor; továbbá arid klímán, illetve egyéb okból kialakult függő medrek esetén jelentős, mely speciális esetek nem képezik kutatásom tárgyát.

#### 4.13 FELSZÍNI VÍZ HŐMÉRSÉKLETVÁLTOZÁSÁNAK HATÁSA A PARTI SZÜRÉSŰ VÍZTERMELÉSRE – MEGJEGYZÉS A MEGKÖZELÍTÉS ALKALMAZÁSÁHOZ

A mederközvetítő réteg és a meder alatti, valamint a part menti összefüggő felszín közeli vízáadó szivárgási tényezője a felszíni víz hőmérséklettől függően évszakosan változik. Ez a hatás azonos folyóvízállás és azonos felszín alatti nyugalmi vízszint mellett közvetve, a termelőkútban azonos termelési hozamhoz tartozó üzemi vízszint-adatok évszakos változásaiban jelentkezik, melynek értékelésével több szerző (Kazmann 1948b, Klaer Jr. 1953, Molnár 2000) is foglalkozott. A víztermeléssel előidézett PS vízforgalomban szerepet játszó három réteg vízvezető képessége a vízhőmérséklet-változással együtt járó dinamikus viszkozitás- és sűrűség-változás aktuális értékei szerint alakul, mely Hubbert (1940) nyomán az alábbiakban (4.29) fejezhető ki,

$$K = \frac{cd^2 \rho g}{\mu} \quad \text{Hubbert (1940)} \quad (4.29),$$

---

ahol: K: felszín közeli vízáadó szivárgási tényezője [m/d]; c: közegre jellemző állandó [-]; d: átlagos szemcseméret-átmérő [m]; p: víz sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>]; g: nehézségi gyorsulás (Magyarországra jellemző budapesti adat: 9,81 [m/s<sup>2</sup>]; μ: folyadék (víz) dinamikus viszkozitása [kg/ms]=[(N\*s)/m<sup>2</sup>]= [Pa\*s].

A víz kvázi inkompresszibilis tulajdonságát figyelembe véve igaz, hogy dinamikus viszkozitását és sűrűségét a nyomásváltozás gyakorlatilag nem befolyásolja. Így ezeknek a paramétereknek a meghatározására vonatkozó számításokban – főként a felszín közeli vízáadók esetén – használhatjuk az átlagos légköri nyomás értékét, melynek nagysága 0 m tengerszinthez viszonyított magasságon: 101 325 Pa. A víz dinamikus viszkozitását és sűrűségét különböző hőmérsékletek és átlagos légköri nyomás mellett az **5. melléklet 4. táblázat** foglalom össze.

A (4.29) kifejezés alapján látható, hogy egy adott vízhőmérséklet mellett számított K-tényező, valamint az erre a vízhőmérsékletre vonatkozó ρ és μ paraméterek ismeretében, a közeg állapotára vonatkozó cd<sup>2</sup> szorzat a Földi nehézségi gyorsulással, g szorzótaggal kiegészítve egy közös C<sub>K</sub> állandóban vonható össze. Ezek után a K-tényező értéke Hubbert (1940) nyomán változó vízhőmérsékletek mellett tetszőlegesen számíthatóvá válik, a vonatkozó ρ és μ paraméterek, valamint a meghatározott C<sub>K</sub> állandó segítségével.

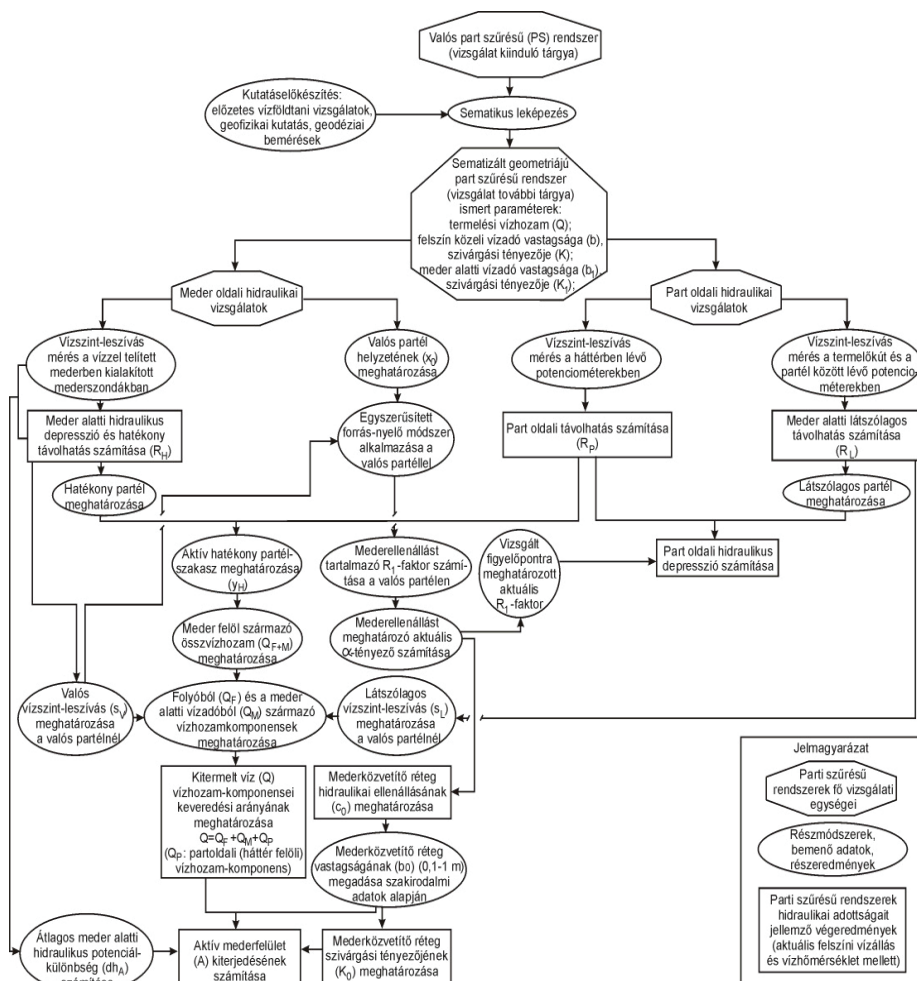
A fentiek értelmében hidegebb vízhőmérséklet mellett a K-tényező csökken, melegebb vízhőmérséklet mellett viszont növekedni fog ugyanazon közegefizikai adottságok mellett (a hőmérsékletváltozás közegre gyakorolt hatását elhanyagolom).

A felszíni vízhőmérséklet és annak változása nyilvánvalóan leginkább a mederközvetítő réteget, továbbá a meder alatti, valamint termelő kút és a partél között elhelyezkedő felszín közeli vízádot érinti. A kutatási megközelítés, és a Dupuit-Thiem-féle megoldás 2. feltétele szerint viszont a vízáadó homogén, izotróp közegként kezelt, ezért az arra számított szivárgáshidraulikai paraméterértékek annak teljes térfogatára – ténylegesen a parti szűrésű kút távolhatásán belüli part közeli térfogatára – érvényesek. Ez az értékelési mód véleményem szerint a hidraulikai kalkulációt kis mértékű hibával terheli, mely azonban a gyakorlatban megkövetelhető számítási hibahatárt nem lépi túl. A fent tárgyaltak alapján álláspontom szerint:

a PS hidraulikai számítások mindig csak az aktuális felszíni vízhőmérsékleti adat ismeretében értelmezhetők.

#### 4.14 KUTATÁSI MEGKÖZELÍTÉS ÖSSZEFOGLALÁSA

Az alábbiakban, folyamatábra (4.12 ábra) segítségével összefoglalom a PS víztermelési rendszerek tanulmányomban kidolgozott, hiánypótló vizsgálati módszerekkel kiegészített, illetve részleteiben pontosított és egyszerűsített, egységes megközelítésen alapuló hidraulikai kutatási módszertanát.



4.12 ábra A parti szűrészű víztermelő rendszerek hidraulikai vizsgálatának folyamata



---

## 5. KUTATÁSELŐKÉSZÍTÉS: A SEMATIZÁLT PARTI SZŰRÉSŰ RENDSZER

A víztermeléssel előidézett parti szűrésű (PS) rendszerek hidraulikai vizsgálatára ismertetett egységes kutatási módszertant két mintaterületen kívánom tesztelni. A vizsgált mintaterületek Duna menti távlati *vízbázisok* helyszínei, Budapest és a déli országhatár között, a középszakasz jellegű folyó jobb partján helyezkednek el.

Ebben a fejezetben a mintaterületek vázlatos bemutatása és az azokon felhasznált objektumok adatainak ismertetése mellett fő célom, hogy a területek PS víztermeléssel érintett felszín alatti környezetének (max. 50 m-es mélység) részletes hidrogeológiai vizsgálata segítségével elvégezzem a valós PS rendszerek sematikus leképezését. A *sematikus leképezett (sematizált) PS rendszer* az előzőekben részletesen ismertetett, illetve a **4.12 ábrán** áttekintett kutatási megközelítés részét és egyúttal alapját képezi. E kutatási célkitűzésem és a dolgozat speciális, sekély-vízföldtani környezetben lehatárolható témája miatt ezért nem célom a mélyföldtani, illetve regionális vízföldtani keret vizsgálata, illetve irodalmi adatokon nyugvó részletes ismertetése. Mivel a vizsgált PS rendszerek elemzéséhez kifejezetten a szűk kutatási területek nyers földtani, vízföldtani adatai szükségesek, melyek speciálisan a mintaterületekre végzett kutatások nyomán a rendelkezésemre állnak, ezért nem volt célom az Alföld egyéb területein végzett rendkívül nagyszámú sekélyföldtani-sekélyvízföldtani kutatások szakirodalomban megjelent adatainak, leírásainak feldolgozása sem.

### 5.1 ALAPADATOK, ÁLTALÁNOS ISMERTETÉS

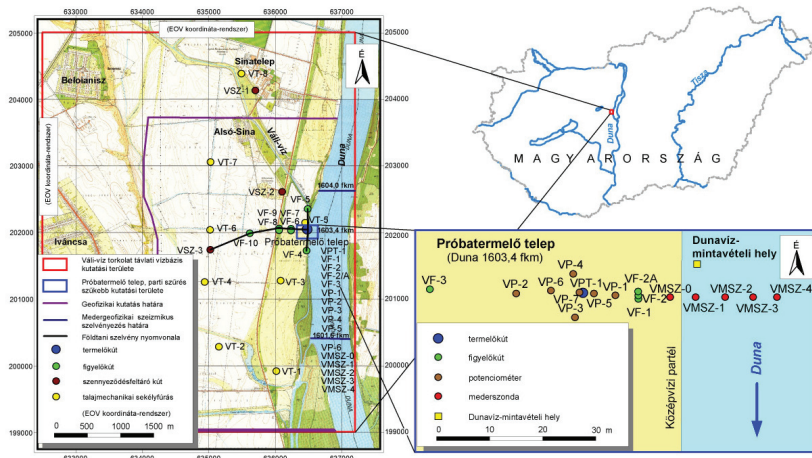
Az alábbiakban vízbázisonként összefoglalom a vizsgált területek elhelyezkedésére, az előzetes kutatásokra vonatkozó ismeretek, valamint az objektumhálózat és a próbatermelés ideje alatt végzett rendszerüzemeltetés adatait.

#### 5.1.1 Váli-víz-torkolat

##### 5.1.1.1 Távlati vízbázis elhelyezkedése, alapadatai

A Váli-víz torkolat távlati *vízbázis* Fejér megye K-i határán, a Duna jobb partján, 1602,6–1603,6 fkm szelvények közötti szakaszon került kijelölésre, az Ercsi és

Adony között 18 km hosszan elterülő, 2,5-3 km széles Adonyi-öblözet D-i felében (5.1 ábra). A távlati vízbázis előírányzott védendő víztermelése 20 000 m<sup>3</sup>/d (KDT KÖVIZIG 2000a).



5.1 ábra Váli-víz torkolat távlati vízbázis kutatási területének elhelyezkedése, objektumai

### 5.1.1.2 Előzetes kutatási munkák a területen

A Mélylépterv (1986) területen végzett vízkutatásai szerint a vizsgált 1 km hosszú partszakaszról 15 000-20 000 m<sup>3</sup>/d a kitermelhető becsült vízkészlet (KDT KÖVIZIG 2000a). 1993-ban (AQUARIUS Kft. 1993a), majd 1997-ben (AQUARIUS Kft. 1997a) a távlati vízbázisról állapotörögzítés készült, amelyek során az addigi ismereteket összefoglalták, a lehetséges szennyezőforrásokat és a meglévő kutatok számbavették. 1997-ben a távlati vízbázis 50 éves elérési idejű védőterülete előzetesen meghatározása került (AQUARIUS Kft., 1997b).

2002-ben a „Sérülékeny földtani környezetben lévő távlati ivóvízbázisok biztonságba helyezése” c. állami célprogram keretében az SGSH elkészítette az érintett PS távlati vízbázis biztonságba helyezési tervdokumentációját (SMARAGD-GSH Kft. 2002a).

### 5.1.1.3 Próbatermelő kút és az észlelőhálózat elemei

A távlati *vízbázis*nak a 2002-ben befejeződött program (SMARAGD-GSH Kft. 2002a) előtt nem volt próbatermelő kútja és saját észlelőhálózata.

Objektum fajtája		Objektum jele	Darabszám
Próbatermelő kút		VPT-1	1
Figyelőkút	Szóló	VF-3, VF-4, VF-5, VF-10	11
	Kútpár	VF-6-VF-7, VF-8-VF9	
	Kúthármas	VF-1-VF-2-VF-2/A	
Állandó potenciométer		VP-7	1
Ideiglenes potenciométer		VP-1, VP-2, VP-3, VP-4, VP-5, VP-6	6
Mederszonda		VMSZ-0, VMSZ-1, VMSZ-2, VMSZ-3, VMSZ-4	5
Szennyeződésfeltáró kút		VSZ-1, VSZ-2, VSZ-3	3
Talajmechanikai fúrás		VT-1, VT-2, VT-3, VT-4, VT-5, VT-6, VT-7, VT-8	8

**5.1 táblázat** A vizsgálatok során felhasznált, az SGSH kutatási program keretében létesített objektumok jegyzéke, Váli-víz torkolat távlati vízbázis

A SGSH kutatási fázis során kialakított kísérleti telep helyzetét, az észlelőhálózat kutatásom során felhasznált objektumainak kiosztását, a területen szerkesztett sekélyföldtani szelvények nyomvonalát, valamint a geofizikai módszerekkel megkutatót part menti terület, illetve mederszakasz elhelyezkedését a **5.1 ábra** szemlélteti. A kialakított állandó és ideiglenes objektumok jegyzékét a **5.1 táblázat**, geodéziai és műszaki adataikat az **1. melléklet 1. táblázat** foglalja össze.

### 5.1.1.4 Kísérleti telep és az észlelőhálózat üzemeltetése

A kísérleti telep és az észlelőhálózat üzemeltetését az **1. melléklet 2. táblázat** foglalja össze. A próbatermelő telep üzemeltetése 49 napon át 2002. január 15-től március 4-ig tartott. A termeltetés több hozamlépcsővel, leállási szakaszok közbeiktatásával zajlott. Ez alatt az időszak alatt komplex hidraulikai mérésekre

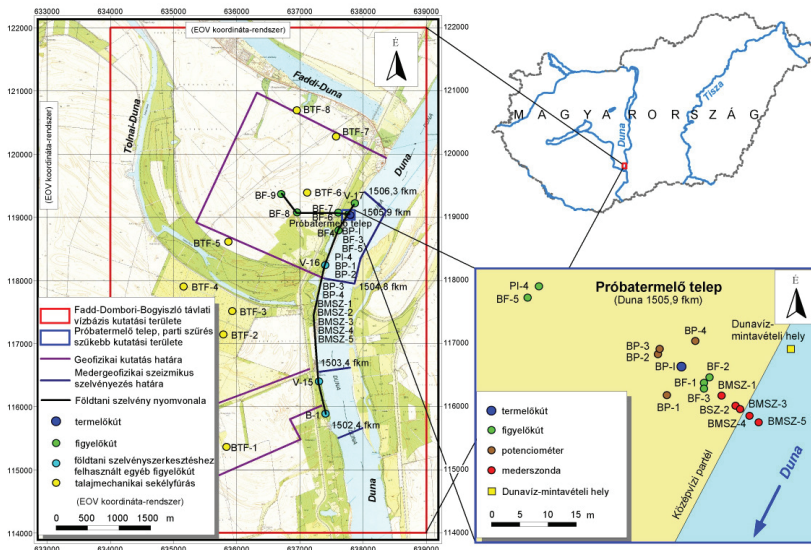
került sor. A Duna és az aktuálisan megközelíthető mederszondák vízállása, valamint a partél helyzete naponta regisztrálásra került. A vízszintészlelő monitoring tevékenység az állandó objektumok bevonásával a próbaüzem után heti rendszerességgel, 2002. szeptember 28-ig folytatódott.

A terepi észleléseket témafelelősként a Jelölt végezte, illetve koordinálta, az észlelési adatokat a Jelölt értékelte ki. A nyers terepi adatok mindegyike a dolgozatban a PS kutatás kapcsán a Jelölt által újra kiértékelt, illetve átvértékelt formában kerülnek közlésre.

## 5.1.2 Fadd-Dombori-Bogyiszló

### 5.1.2.1 Távlati vízbázis elhelyezkedése, alapadatai

A Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis Tolna megyében, a Duna jobb partján 1502,75-1503,25; 1504,92-1505,32; 1505,61-1506,31 fkm-ek között, három partszakaszon került kijelölésre (5.2 ábra) (KDT KÖVIZIG 2000b).



5.2 ábra Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis kutatási területének elhelyezkedése, objektumai

---

Az SGSH 2002-ben zárult kutatása nyomán ez két perspektivikus szakaszra (egy É-i 0,7 és egy D-i 0,5 km hosszúságúra) módosult, mivel a 0,4 km-es középső partszakaszt nem volt alkalmas PS vízkivételre. A távlati vízbázis előírányzott védendő víztermelésre 12 000 m<sup>3</sup>/d (KDT KÖVIZIG 2000b).

#### **5.1.2.2 Előzetes kutatási munkák a területen**

A távlati vízbázis területén – Szekszárd város számára igényelt vízmennyiség beszerzése érdekében – az 1980-as évek második felében vízkutatást folytatott az Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat (FTV) (1989). A távlati vízbázis vizsgálatára elsőként 1993-ban került sor (AQUARIUS Kft. 1993b), majd ezt követően a távlati vízbázisok biztonságba helyezése programon belül részletesebb kutatást végeztek (AQUARIUS Kft., 1997b), melynek keretén belül elkészült a vízbázis előzetes hidrogeológiai védőterületének lehatárolására.

2002-ben „Sérülékeny földtani környezetben lévő távlati ivóvízbázisok biztonságba helyezése” c. állami célprogram keretében az SGSH elkészítette az érintett PS távlati vízbázis biztonságba helyezési tervdokumentációját (SMARAGD-GSH Kft. 2002b).

#### **5.1.2.3 Próbatermelő kút és az észlelőhálózat elemei**

A távlati vízbázis 2000. előtt kialakított próbatermelő kútja (BP-I) mellett az észlelőhálózata 2000-ben 21 tagból állt, melyekből a kutatás során két objektum (PI-4, V-17) felhasználható volt. A kiegészítő vizsgálatokhoz (felszín közeli vízádó általánosan jellemző hidraulikus potenciálszintje; földtani szelvények) további kutak adatait is felhasználásra kerültek. A felszín közeli vízádó PS kutatásnál nagyobb területet érintő hidraulikus potenciáeloszlás vizsgálatához felhasznált figyelőkutak helyzetét csak az adott tematikus térképen ábrázolom. Az SGSH által 2002. évben végzett diagnosztika során az észlelőhálózat 9 db újonnan, véglegesen kialakított figyelőkúttal bővült, melyek elhelyezkedését, valamint a geofizikai módszerekkel megkutatott terület és mederszakasz helyzetét a **5.2 ábra** szemlélteti. Az állandó létesítésű kutak mellett a BP-I próbatermelő kút környezetében kialakításra került további 4 db ideiglenes potenciométer (BP-1, BP-2, BP-3, BP-4) és a Duna medrében 5 db ideiglenes mederszonda (BMSZ-1, BMSZ-2, BMSZ-3, BMSZ-4, BMSZ-5) (**5.2 ábra**).

A vizsgálatokhoz felhasznált állandó és ideiglenes objektumok jegyzékét a **5.2 táblázat** foglalja össze. Az új objektumok, valamint a telepüzemeltetés során a folyamatos hidraulikai mérésekhez felhasznált korábbi létesítésű kutak geodéziai és műszaki adatait, továbbá a mederszondák geodéziai és műszaki adatait **1. melléklet 3. táblázat** tartalmazza.

Objektum fajtája		Objektum jele	Darab
Próbatermelő kút		BP-I	1
Figyelőkút	Szóló	BF-4, BF-5, BF-8, BF-9, PI-4, V-17	11
	Kútpár	BF-6 – BF-7	
	Kúthármas	BF-1 – BF-2 – BF-3	
Ideiglenes potenciométer		BP-1, BP-2, BP-3, BP-4	4
Mederszonda		BMSZ-1, BMSZ-2, BMSZ-3, BMSZ-4, BMSZ-5	5
Talajmechanikai fúrás		BTF-1, BTF-2, BTF-3, BTF-4, BTF-5, BTF-6, BTF-7, BTF-8	8

**5.2 táblázat** A vizsgálatok során felhasznált, a 2000-ben meglévő, illetve az SGSH kutatási program keretében létesített objektumok jegyzéke, Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis

#### 5.1.2.4 Kísérleti telep és az észlelőhálózat üzemeltetése

A kísérleti telep üzemeltetése 2002. március 7-től május 17-ig, 62 napon keresztül tartott. A 2002. március 26-tól április 4-ig tartó árvíz idején a telep üzemeltetése szünetelt. A BP-I kút próbatermelgetése több hozamlépcsővel, leállási szakaszok közbeiktatásával zajlott. Az üzemeltetés időszaka alatt – a Váli-víz torkolat távlati vízbázishoz hasonlóan - komplex hidraulikai mérésekre került sor (**1. melléklet 4. táblázat**).

A Duna és az aktuálisan megközelíthető mederszondák vízállása, valamint a partél helyzete naponta regisztrálásra került.

A telep üzemeltetését 2002. március 26-a és április 4-e között a Duna áradása zavarta meg, ami alatt a méréssorozatot fel kellett függeszteni. 2002. május 8-tól május 16-ig a BF-3-jelű figyelőkút próbatermelő kútként üzemelt, melynek értékelése nem képezte jelen kutatás tárgyát.

---

A vízszintészlelő monitoring tevékenység az állandó objektumok esetén a kísérleti telep próbaüzemének végeztével 2002. szeptember 26-ig, heti rendszerességgel folytatódott.

A terepi észleléseket témafelelősként a Jelölt végezte, illetve koordinálta, az észlelési adatokat a Jelölt értékelte ki. A nyers terepi adatok mindegyike a dolgozatban a PS kutatás kapcsán a Jelölt által újra kiértékelt, illetve átértékelt formában kerülnek közlésre.

## **5.2 DOMBORZATI ÉS VÍZRAJZI VISZONYOK, A DUNA MEDERFELSZÍNÉNEK GEOMETRIÁJA**

### **5.2.1 Váli-víz torkolat**



**5.1 fénykép** Az Adonyi-öblözet síkvidéke, háttérben a lösz magasparttal



**5.2 fénykép** A Váli-víz gátakkal védett medre Sinatelep térségében

Az Adonyi-öblözet terepfelszíne 95-99 mBf tengerszint feletti magasságú. Az öblözetet északi, nyugati és déli oldalról 20-35 m magas lösz-magaspart szegélyezi (**5.1 fénykép**), melynek K-i határa a Duna medrétől 2,5-3 km távolságra, Iváncsa és Beloianisz települések előtt húzódik (**5.1 ábra**). A kutatási terület keleti határát a Duna mintegy 500 m széles medre képezi. A háttérben található egyedüli jelentősebb kisvízfolyás a Váli-víz-patak (**5.2 fénykép**), mely ÉNy-DK-i irányba szeli át a vizsgált terület É-i harmadát, és közvetlenül a távlati vízbázis kijelölt partszakasza felett torkollik a Dunába.

### 5.2.2 Fadd-Dombori-Bogyiszló

A vizsgált terület lapos, enyhén hullámos felszínű síkvidéki táj, melyet a Duna lefűzött, gátakkal felduzzasztott holtágai (Faddi-Duna, Tolnai-Duna) és a többé-kevésbé feltöltődött egykori medrei tagolnak (5.2 ábra), (5.3 fénykép).

A kutatási terület keleti határát a Duna mintegy 500 m széles medre képezi. A távlati vízbázis előtt húzódó partszakasz – a Duna nagy ívű bal kanyarjából eredő megnövekedett eróziós hatás csillapítása miatt – teljes hosszában hullámtörő kőszórással védett (5.4 fénykép).



**5.3 fénykép** A vizsgált terület hullámos felszínű síkvidéke, Fadd-Dombori-Bogyiszló térségében



**5.4 fénykép** A Duna hullámtörő kőszórással védett partja Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis partszakaszán, Domborinál

### 5.2.3 Dunameder vonalvezetése és a folyó átlagos vízszint-esése a vizsgált területek előtti szakaszon

A Duna-meder Budapest-déli országhatár közötti szakaszának szabályozásakor a kanyarulatok kedvezőbbé tételét, az egységes főmeder kialakítását, a szabályozási partvonalak állandósítását tekintették elsődleges feladatnak. Ennek nyomán néhány jelentősebb, nagy ívű kanyartól eltekintve (Érd, Rácalmás, Dunaföldvár, Paks, Baja, Mohács) hosszú egyenes szakaszok és enyhe lefutású nyújtott ívek váltják egymást. A két, vizsgálataimmal érintett távlati *vízbázis* partszakasza egy-egy igen enyhe elnyújtott balkanyar külső ívén, kvázi egyenes folyószakasz mentén helyezkedik el.

A folyó esése hosszú szakaszokon kisebb eltérésekkel egységesnek tekinthető. Budapeستől Dunaföldvárig a Duna átlagos esése  $7,80 \cdot 10^{-5}$  m/m, ezen belül a Váli-víz torkolat távlati vízbázis előtt  $5,30 \cdot 10^{-5}$  m/m esés regisztrálható (SMARAGD-GSH Kft.



---

2002a). Innen Domboriig egy viszonylag nagyobb esésű szakasz következik, 11,60E-5 m/m eséssel, majd Domborítól Mohácsig már ismét enyhébb a vízszint-esés, csak 6,00E-5 m/m (SMARAGD-GSH Kft. 2002b). Tehát a Duna esése a két érintett szakaszon igen enyhe, 5,30-6,00E-5 m/m, azaz próbatermelő telepek előtt a folyó szintje folyásirányban kvázi vízszintesnek értékelhető, néhány száz méteren belül gyakorlatilag egy vízszintértékkel jellemezhető.

### **5.3 FÖLDTANI FELÉPÍTÉS, HIDROSZTRATIGRÁFIAI TAGOLÁS**

#### **5.3.1 Váli-víz torkolat**

Az Ercsi és Adony térségében mélyült legmélyebb vízkutató fúrások 250-300 méteres mélységben sem harántolták a vékony kvarter összlet alatt húzódó pannóniai törmelékes üledékes rétegsort. A terület közelében 1973-ban mélyült Ráckeve 59. sz. fúrás 1003 méteres mélységben érte el a pannóniai rétegek feküjét, majd az alatta települő felsőmiocén homokos-finomtörmelékes összletben állt meg 1160 méteres mélységben. A nagy vastagságú pannóniai összlet közvetlenül a negyedidőszaki rétegek alatt 100 métert meghaladó vastagságban zömmel agyagos-finomtörmelékes, vízrekesztőként értékelhető rétegekből épül föl (AQUARIUS Kft. 1993a). Az érintett területen jelentős, 1000 métert meghaladó mélységben húzódó alaphegység, valamint az azt fedő idős medencekitöltés réteg- és közettani kifejlődésének, ill. vízföldtani viszonyainak ennél bővebb áttekintése nem képezi a kutatásom tárgyát. Az alábbiakban – a dolgozat céljával összhangban - a parti szűrési vízádot is magában foglaló felső néhány tíz méter vastagságú zóna földtani és vízföldtani viszonyait részletezem.

##### **5.3.1.1 Felhasznált adatforrások, alkalmazott kutatási módszerek**

A földtani felépítés a területre vonatkozó archív geológiai adatok (AQUARIUS Kft. 1993a) mellett az SGSH (2002a) kutatása során mélyült 29 db fúrás (**5.1 ábra és 1. melléklet 1. táblázat**) 19 db rétegsora (**2. melléklet 1-19. ábrák**), valamint a háttér területén (Btix Bt. 2001) és a meder 2400 méteres teljes szelvényű szakaszán (Geometa Kft. 2001a) végrehajtott geofizikai vizsgálatok (**5.1 ábra**) eredményei, illetve ez utóbbiak újraértékelése alapján mutatom be.

---

A 29 db fúrásból az 1 db kúthármasnak és a 2 db kútpárnak csak a legmélyebb fúrási rétegsorai kerültek kiértékelésre. Továbbá a termelőtelepen a PS kutatás szempontjából megfelelően sűrű földtani adateloszlás miatt nem lett mintázva a 6 db önálló potenciométer fúrása.

A rétegzettség feltárása és a rétegösszletek geometriájának megismerése után egymásrahatás tesztek és talajfizikai vizsgálatok kiértékelése révén meghatároztam a földtani közeg szivárgáshidraulikai paramétereit.

A fenti vizsgálatok eredményei alapján a sekélyföldtani összlet sematikus hidrosztratigráfiai leképezése elvégezhető volt, és az így megismert réteggeometria és paraméterező képezte a parti szűrésre fókuszáló vizsgálatok alapját.

### **5.3.1.2 Part menti kutatási területen előforduló sekélyföldtani képződmények**

2002-ben elvégeztem a mintaterületen mélyített 19 db fúrási rétegsor-leírását és újraértékeltem a geofizikai kutatások eredményeit, melyek alapján a területen előforduló sekélyföldtani képződményeket az alábbi földtani formációkba sorolom be.

*Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció* <sup>n</sup> $Pa_2$  (Jámbor Á. és Korpásné Hódi M. 1996)

Kora: felsőpannóniai

Sárgásszürke, szürke agyag és vékonyabb agyagos homokrétegek váltakozásából felépülő tavi-folyóvízi összlet.

Vastagsága a terület alatt minimálisan több tíz méter, de a földtani fejezet bevezetőjében tárgyaltak szerint a jelentős vastagságú pannóniai összlet tetején a száz métert is elérheti.

*Duna alluvium* <sup>f</sup> $Qp_3 - Q_n$  (Kaiser M. és Gyalog L. 1996)

Kora: Felső-pleisztocén – Holocén

Szürke kavics, kavicsos-homokos mederüledék; felfelé finomodó szürkésbarna homok, kőzetliszt, agyagos-kőzetlisztes ártéri üledék.

Átlagos vastagsága 12,5 m.

*Talaj* (Anton 2001)

Kora: újholocén

Meszes réti öntéstalaj: a vizsgált terület rétegsorának döntő részét fedi; porlóan morzsás, humusz- és mésztartalma viszonylag magas.

Fiatl nyers öntéstalaj: mélyedésekben, vízfolyások mentén, Duna parti sávban; kitűnően morzsás, humusz- és mésztartalma alacsonyabb.

Átlagos vastagsága 0,5 m.

---

### 5.3.1.3 Vizsgált terület sekélyföldtani-, szerkezeti-, rétegeometriai-viszonyai

A fentiekben említett, a földtani kép megismerésére irányuló kutatásaim, elemzéseim, valamint a szűk kutatási terület környezetét érintő archív adatok alapján az alábbiakban ismertetem a vizsgált terület sekélyföldtani képét.

A parti szűréssel érintett vízadó holocén-pleisztocén alluviális rétegsor fekvését a vizsgált területen átlagosan 13 (távolabb a háttérben esetenként max. 21) méteres mélységben megütött, illetve bemért felső-pannóniai agyag-, finomtörmelékes agyagréteg képezi. E képződménybe az SGSZ (2002a) kutatás során csupán néhány métert fúrtunk, de az archív fúrások adatai (AQUARIUS Kft. 1993a) és a geofizikai eredmények alapján vastagsága többször 10 méteres. A fekvőfelszín az öblözet alatt 79-85 mBf magasságban húzódik, a Duna-felé egyenletlenül, enyhén lejt (Btix Bt. 2001). A fekvőfelszín szintje a vizsgált kiterjedtebb parti sávban egységesnek értékelhető, átlagos értéke 84 mBf **(5.3 és 5.4 ábrák)**.

A fekvő agyagot átlagosan 13 (max. 21) méter vastagságban, felfelé finomodó kvarter törmelékes rétegsor követ (kavics-kavicsos homok, agyagos homok és közetliszt, foltokban agyag). Az alsó durvatörmelékes összlet és a fedő finomtörmelékes összlet élesen elkülönül egymástól, de a határ az egyes egységeket alkotó rétegek között nem túl éles, az átmenet többnyire folyamatos **(5.3, 5.4 ábrák)**.

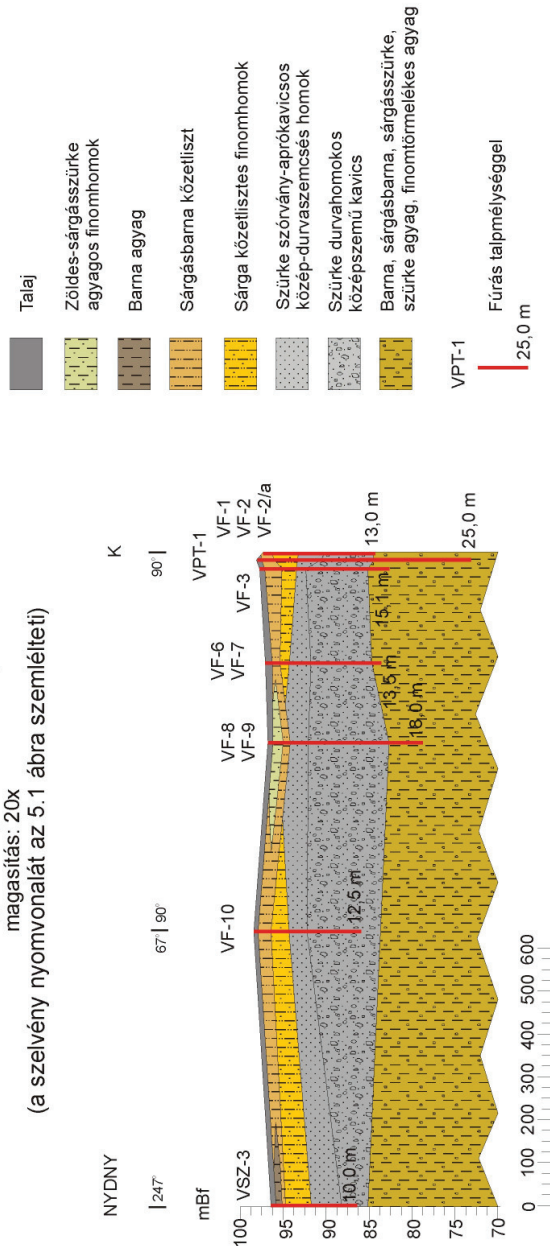
A Duna mentén a kavicsos homokos réteg 7-9 m, átlagosan 8 m vastagságú, mely a próbatermelő telepen áthaladó folyóra merőleges és azzal párhuzamos sekélyföldtani szelvényeken **(5.3 és 5.4 ábrák)** egyaránt jól nyomon követhető.

A fedő homokos agyag, közetlisztes agyag képződmények vastagsága a part közeli szelvényekben 3-6 m között változik, átlagosan 4,5 méteresnek tekinthető (Btix Bt. 2001), **(5.3 és 5.4 ábrák)**. A rétegsort az átlagosan 0,5 m vastagságú újholocén meszes réti-, illetve a vízfolyások mentén fiatal nyers öntéstalaj zárja, mely gyakorlatilag a fedő legfelső részét alkotja, és ezzel a part menti régióban a fedő átlagos vastagsága 5 m.

A földtani és a geofizikai (Geomega Kft. 2001b) adatok alapján a távlati vízbázis területének sekélyföldtani rétegsora vetőktől mentes. A rétegek enyhén hullámos felszínnek mentén, gyakorlatilag közel vízszintesen települnek egymásra. A próbatermelő telep tágabb környezetében vastagságuk egyenletesnek értékelhető: a több tíz méter vastag agyagos fekvőre, átlagosan 8 m vastag kavicsos-durvahomokos réteg települ, melynek finomtörmelékes fedője átlagosan 5 m vastagságú.

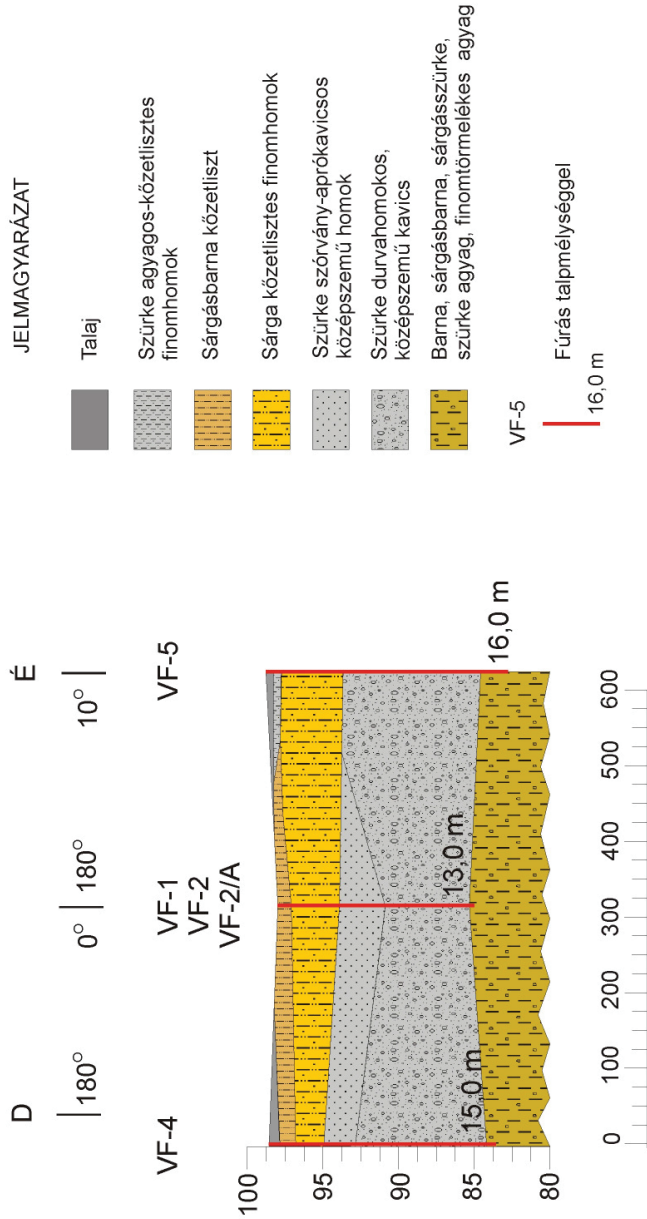
5.3 ábra

Váli-víz torkolat távlati vízbázis  
 Geofizikai mérésekkel pontosított  
 Dunára merőleges sekélyföldtani szelvény  
 magastítás: 20x  
 (a szelvény nyomvonalát az 5.1 ábra szemlélteti)



5.4 ábra

Váli-víz torkolat távlati vízbázis  
Dunával párhuzamos földtani szelvény  
magasítás: 20x  
(a szelvény nyomvonalát az 5.1 ábra szemlélteti)



---

#### 5.3.1.4 Földtani közeg szivárgáshidraulikai paraméterei

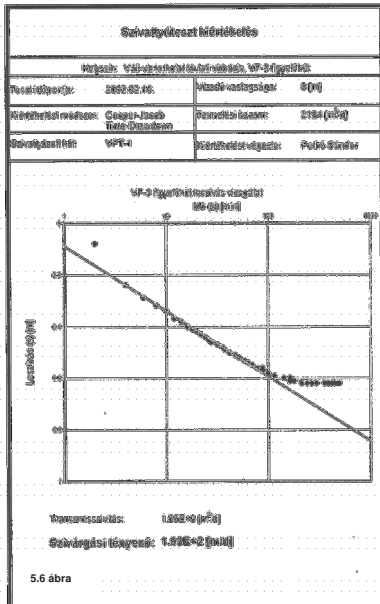
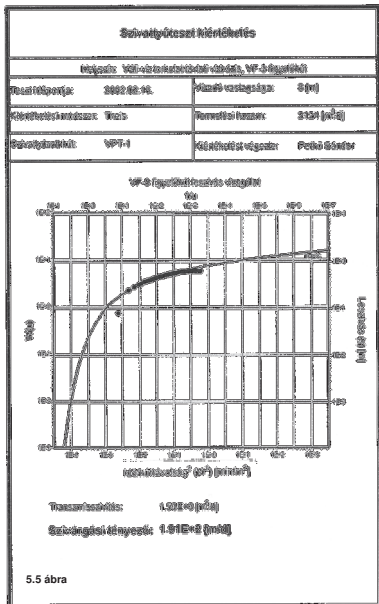
A felszín közeli földtani közeg szivárgáshidraulikai paramétereit 40 db szivattyúteszt kiértékelést és a területen mélyült sekélyfúrások talajmintasorainak 52 db szemcseméret eloszlás vizsgálatát elvégezve, a képződményekre számított szivárgáshidraulikai adatok átlagolásával határoztam meg.

##### 5.3.1.4.1 Szivattyúteszt kiértékelés

Az egymásrahatás vizsgálat hidraulikai kiértékelését a VP-1, VP-2, VP-3, VP-4, VP-5, VP-6 potenciométerek és a VF-1, VF-2, VF-2/A, VF3 figyelőkutak vízszint-idősorainak (**3. melléklet 2-7. és 9-10. ábrák**) felhasználásával végeztem el. Kiértékelésre a 2002. január 18-i és 2002. február 16-i leszívás események 20 db vízszintváltozása volt alkalmas (**4. melléklet 1. és 2. táblázat**). Ezekben az időpontokban a Duna vízszintje kvázi konstans volt, így a vízszint-figyelő objektumok esetén külön vízszint-kompenzációra nem volt szükség, továbbá lehetőség nyílt a teszt alatt megvalósult minimális (300 L/p, 432 m<sup>3</sup>/d) és közel maximális (1475 L/p, 2124 m<sup>3</sup>/d) termelési hozamok mellett végzett elemzésre.

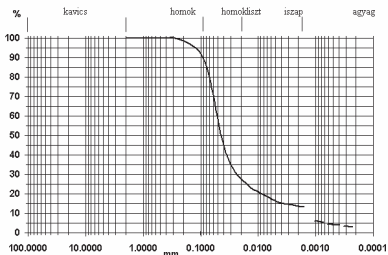
A felszín közeli vízádóra vonatkozó szivárgáshidraulikai paraméterek az AquiferTest 3.01 (Waterloo Hydrogeologic, Inc. 2001) szivárgáshidraulikai paraméter-elemző programmal, Theis- és Cooper-Jacob-féle nem permanens módszerekkel számítottam ki, termelőkút szűrőjével teljesen harántolt vízádot figyelembe véve. A hidraulikai vizsgálatok eredményeit a **5.3 táblázat** foglalja össze, a *Szivattyúteszt kiértékelés* jegyzőkönyveket **5.5-5.6 ábrák, 4. melléklet 1-40. ábrák** szemléltetik.

Az elemzésekhez néhány óráig terjedő, a vízszint-változásokat jól tükröző és ezzel a vízádo réteget megfelelően jellemző adatsorokat (**4. melléklet 1. táblázat**) használtam fel, a kezdeti bizonytalan adatok elhagyásával. A viszonylag rövid felhasznált idősorok oka az volt, hogy az idő előrehaladtával a folyó felőli vízutánpótlódás állandósult (folyó típusú határfeltétel), ezzel minden alkalommal kb. másfél-két órát követően permanens szivárgási állapot (konstans vízszint) (**5.5-5.6 ábrák**) jött létre az alulról zárt felülről fedett felszín közeli vízádobban. Ez állapot a tesztekhez felhasznált figyelő objektumok vízszint-idősorain, továbbá a VPT-1, de méginkább a próbatermelő kút gyűrűsterében kialakított, a vízádobban – a vízszálszakadást kiküszöbölve – a termelőkútnál kialakuló vízszintet reprezentáló VP-7 potenciométer vízszint-idősorain (**3. melléklet 1. és 8. ábrák**) is jól megfigyelhető.



## Talajfizikai vizsgálati lap

Munkaterület neve:	Vál-víz távlati vizsgálat	Kért vizsgálat:	szemcsenagyi eloszlás
A minta jellege:	talaj	A vizsgálat helye:	VIZTUSI Kft.
A minta azonosító:	VF-50.0-0.5	A vizsgálat ideje:	2001.11.29.
Minta vételi ideje:	2001. szeptember	A kiértékelést végezte:	Pethő Sándor
Minta vevő neve:	SMARA/GD-GSH Kft.	Megjegyzés:	
Beszállító neve:	SMARA/GD-GSH Kft.		



Szálási adatok									
d mm				2.00	0.50	0.25	0.100		
%				100.0	99.9	99.6	91.9		

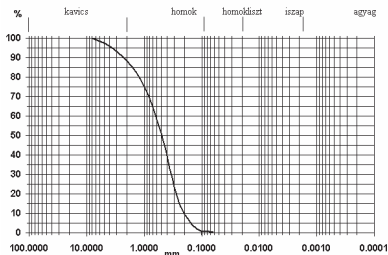
Hidrometriai adatok									
hát		0.5 perc	1 perc	2 perc	5 perc	17 perc	45 perc	2 óra	4 óra
d mm		0.0620	0.0475	0.0370	0.0250	0.0140	0.0086	0.0052	0.0036
%		72.2	54.8	41.2	31.1	22.7	19.9	16.6	14.9

Mértékadó szemcsenagyi (Zamarin)	0.0062	mm
Számított szűrési tényező:	8.80E-08	m/s
	7.60E-03	m/d

5.7. ábra

## Talajfizikai vizsgálati lap

Munkaterület neve:	Vál-víz távlati vizsgálat	Kért vizsgálat:	szemcsenagyi eloszlás
A minta jellege:	talaj	A vizsgálat helye:	B.T.E. Árk. és Könyv. Tsz.
A minta azonosító:	VF-6/6	A vizsgálat ideje:	2001.04.24.
Minta vételi ideje:	2001.03.02.	A kiértékelést végezte:	Pethő Sándor
Minta vevő neve:	SMARA/GD-GSH Kft.	Megjegyzés:	
Beszállító neve:	SMARA/GD-GSH Kft.		



Szálási adatok									
d mm				8	4	2	1	0.5	0.25
%				100.0	96.0	88.5	75.0	51.5	16.0

Hidrometriai adatok									
hát									
d mm									
%									

Mértékadó szemcsenagyi (Zamarin)	0.8436	mm
Számított szűrési tényező:	1.65E-03	m/s
	1.42E+02	m/d

5.8. ábra

Dátum		2002.01.18.		2002.02.16.	
Hidraulikai esemény		Leszívás		Leszívás	
Kiértékelési módszer		Theis	Cooper-Jacob idő-leszívás	Theis	Cooper-Jacob idő-leszívás
Szivárgási tényező (K[m/d])	VF-1	6,70E+1	6,76E+1	6,06E+1	6,08E+1
	VF-2)	8,51E+1	8,50E+1	7,81E+1	7,87E+1
	VF-2/A	5,63E+1	5,72E+1	8,52E+1	7,87E+1
	VF-3	1,79E+2	1,80E+2	1,91E+2	1,93E+2
	VP-1	1,21E+2	1,22E+2	1,47E+2	1,54E+2
	VP-2	8,57E+1	8,93E+1	1,78E+2	1,78E+2
	VP-3	4,82E+1	5,02E+1	1,49E+2	1,49E+2
	VP-4	9,29E+1	9,28E+1	8,45E+1	8,44E+1
	VP-5	5,40E+1	5,37E+1	8,44E+1	8,48E+1
	VP-6	7,82E+1	7,83E+1	1,12E+2	1,12E+2
	Átlag	1,02E+2			

**5.3 táblázat** A vízáadó hidraulikai tesztek alapján számított szivárgási tényezője (K [m/d]), Váli-víz torkolat távlati vízbázis

A szivárgási tényező hidraulikai vizsgálatokkal kapott eredményeinek átlaga alapján 1,02E+2 m/d a parti szűrészű a vízáadó kavicsos-durvahomokos rétegre vonatkozóan a próbatermelő telep körzetében.

A rendszerematizációs részcelkitűzést és a kis vizsgált térrészt tekintve az átlagolással számított értékeket jelen helyütt és a továbbiakban is elfogadom.

#### 5.3.1.4.2 Talajfizikai vizsgálatok

A területen mélyített 8 db sekélyfúrás és 21 db kútfúrás földtani rétegsorainak ismeretében, egyes fúrások meghatározott mélységeiből, mélységközeiből összesen 52 db talajminta szemcseméret-eloszlása került elemzésre. Ezekből Zamarin-féle számítási módszerrel (Zamarin 1954) meghatároztam a finom- és a durvatörmelékes képződmények szivárgási tényezőjét.

A mérések adatait és a számított eredményeket a *Talajfizikai vizsgálati lap* jegyzőkönyvek (5.7-5.8 ábrák, 4. melléklet 62-113. ábrák) tartalmazzák, a kiértékelések eredményeit az 5.4 táblázat foglalom össze.

Az 5.4 táblázatból az adott fúrások földtani rétegsorának ismeretében kiszűrtem a felszín közeli, negyedidőszaki finomtörmelékes fedőösszlet agyagos-kőzetlisztes és kőzetlisztes-finomhomokos rétegeire jellemző szivárgási tényező értékeket. Ugyanez megtörtént a rétegsorokban markánsan megjelenő, szintén negyedidőszaki



**durvahomokos-kavicsos** összletre is. Egy szivárgási tényező érték származik a durvatörmelékes réteg alatt sok helyütt megfúrt, különböző színű, de hasonló tömörségű felsőpannóniai **fekű agyagból**, ami szintén külön kategóriát képez.

A számsorból két adatot, a próbatermelő teleptől távolabb eső VSZ-1 és VSZ-3 fúrás egy-egy adatát nem kategorizáltam (VSZ-1, 9-10 m,  $K=1,47E+3$  és VSZ-3, 8 m  $K=7,63E-2$  m/d), mivel ezek csupán a kavicsos-durvahomokos rétegben megjelenő vékony, lokális kiterjedésű törmelékes lencsék jellemzői. A fedő közetlisztes-finomhomokos kifejlődése a próbatermelő teleptől távol és csak foltokban jelent meg, így ezt a viszonylag durvább üledékfrakciót nem tekintettem jellemzőnek a fedőösszletre vonatkozóan.

A három összlet négy képződménykategóriájára a szivárgási tényező értékeket külön-külön átlagoltam (**5.5 táblázat**).

Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]	Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]	Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]	Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]
VSz-1	3-4	1,51E-3	VPT-1	13	6,33E+0	VF-9	13	1,33E+2	VT-4	8	5,26E+1
VSz-1	6-7	1,94E+0	VPT-1	18	1,76E-3	VF-10	3-4	1,30E-3	VT-5	1,5	2,10E-2
VSz-1	9-10	1,47E+3	VF-4	2	1,78E-3	VF-10	5-6	3,03E-2	VT-5	4,5	3,95E-1
VSz-2	3-4	3,17E-3	VF-4	8	9,64E+0	VF-10	11-12	2,86E+2	VT-5	7,5	9,65E+0
VSz-2	6-7	5,51E+0	VF-4	14	1,05E+2	VT-1	0,5	1,98E-2	VT-6	6	1,42E+2
VSz-2	9-10	2,96E+0	VF-5	0-0,5	7,60E-3	VT-1	1,5	2,60E-2	VT-6	8	1,03E+2
VSz-3	1	1,42E-3	VF-5	2-3	2,93E-3	VT-1	4	3,68E-1	VT-7	0,5	1,68E-2
VSz-3	8	7,63E-2	VF-5	12-13	6,40E+2	VT-1	8	2,05E+2	VT-7	1	7,01E-3
VSz-3	9	1,94E+2	VF-7	2	5,82E-3	VT-2	8	2,11E+1	VT-7	2,5	6,02E-3
VPT-1	0,5	4,66E-3	VF-7	3	3,53E-2	VT-3	9	1,02E+2	VT-7	5	4,04E-1
VPT-1	1	7,30E-2	VF-7	9	9,79E+1	VT-4	0,5	7,02E-3	VT-7	7,5	6,44E+1
VPT-1	3	1,95E-3	VF-9	2	2,44E-3	VT-4	3	7,45E+1	VT-8	4,5	7,42E-1
VPT-1	6	1,01E-2	VF-9	3	7,02E-2	VT-4	5	1,01E+1	VT-8	7,5	6,79E+1

**5.4 táblázat** A talajfizikai vizsgálatok alapján számított szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Váli-víz torkolat távlati vízbázis

Rétegösszlet	Agyagos közetliszt	Közetlisztes finomhomok	Durvahomokos kavics	Fekű agyag
<b>Szivárgási tényező (K[m/d])</b>	9,73E-3	6,82E+0	1,18E+2	1,76E-3

**5.5 táblázat** Az egyes rétegekre a szemcseméret elemzés alapján jellemző szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Váli-víz torkolat távlati vízbázis

### 5.3.1.5 Hidrosztratigráfiai tagolás

Az elvégzett földtani- és geofizikai kutatások adatai, valamint a szivattyútesztek és szemcseeloszlás vizsgálatok révén számított szivárgáshidraulikai paraméterek ismeretében meghatároztam a területre vonatkozó és a próbatermelő telep környezetére általánosan jellemző sekély-hidrosztratigráfiai tagolást (5.6 táblázat).

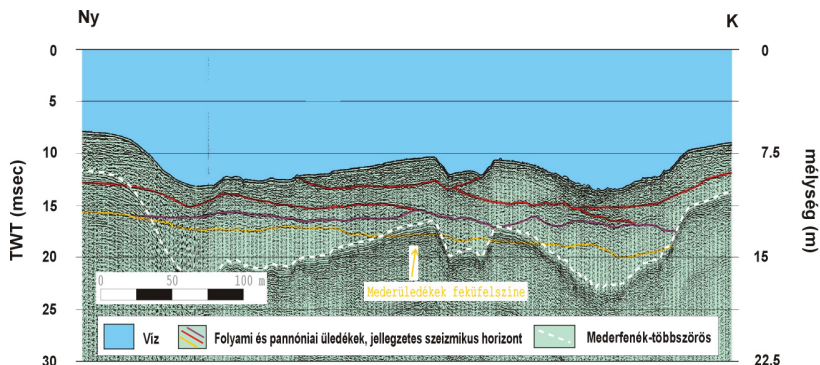
A parti szűrésű rendszer fedő-vízadó-fekű egységekre különíthető el. Az átlagosan 5 m vastagságú, változó szemcseösszetételű, de egyöntetűen finomtörmelékű fedőösszlet alatt az átlagosan 8 m vastagságú durvatörmelékű vízadót is egy hidrosztratigráfiai egységnek tekinthető. Ez alatt a 2002-ben végzett kutatás során is megismert vízrekesztő agyagos fekű települ, geofizikai mérések szerint minimum több tíz méteres, korábbi fúrások rétegsora alapján 100 métert elérő vastagságban (5.6 táblázat).

Szivárgási tényező számítások eredményei		Átlagos vastagság [m]	K <sub>szemelzés</sub> alapján [m/d]	K <sub>hidraulika</sub> alapján [m/d]	K <sub>átlag</sub> [m/d]
Hidrosztratigráfiai egység	Fedő	5	jellemző: 9,73E-3	-	9,73E-3
			feltokban: 6,82E+0	-	
	Vízadó	8	1,18E+2	1,02E+2	1,10E+2
	Fekű	>>10	pontadat: 1,76E-3	-	1,76E-3

**5.6 táblázat** Váli-víz torkolat távlati vízbázis sekély-hidrosztrigráfiai egységei és azok jellemző szivárgási tényező (K [m/d]) értékei

### 5.3.1.6 Duna-meder geometriája, földtani felépítése

A Duna medre a jobb oldali partszakasz előtt – a Duna nagy ívű balkanyjarja miatt – egy keskeny part közeli medersávtól eltekintve viszonylag meredeken lejt a partéltre merőleges szelvényben. A mederfelszín átlagos tengerszint feletti magassága 88,5 mBf (Geometa Kft. 2001a nyomán Jelölt értékelése). Az alacsony vízálláskor tett megfigyeléseim alapján a mederfelszín anyaga kavicsos durvahomok, a kavicsok között alárendelten kiüledett kőzetlisztes finomhomokkal, helyenként agyag szemcseméretű üledékkel. A medergeofizikai mérések alapján a terület többi részén sem tapasztalható jelentős feliszapolódás (Geometa Kft. 2001a).



**5.9 ábra** A Dunán az 1603,7 fkm-nél mért, értelmezett szeizmikus keresztshelvény (Geomega Kft. 2001a nyomán újraértékelt ábra)

A keresztrelvezett kavicsos-durvahomokos mederanyag a távlati vízbázis előtt vizsgált szakaszon (5.1 ábra) mindenhol jelen van, vastagsága viszonylag egyenletes, a sodorvonalig átlagosan 4,5 m (5.9 ábra) (Geomega Kft. 2001a). A szeizmikus horizontok szerint kiékelődő, egymásra lapolódó rétegekből felépülő mederüledék (5.9 ábra) a geofizikai eredmények (Btix Bt. 2001, Geomega Kft. 2001a) Jelölt által történt értékelése alapján a parton megismert vízáddal egynemű, azzal közvetlen kapcsolatban áll.

A medergeofizikai kutatással (Geomega Kft. 2001a) feltérképezett, átlagosan 84 mBf szinten húzóddó markáns szeizmikus horizontot (5.9 ábra) a földtani és a parti régióban végzett geofizikai (Btix Bt. 2001) kutatások alapján a kavicsos mederüledék felsőpannóniai korú agyagos feküjének felszínével azonosítottam. Ez alatt a felsőpannóniai üledékeket a mederszeizmika értékelhetően 22,5 méteres mélységig tárta fel.

### 5.3.2 Fadd-Dombori-Bogyiszló

Az alábbiakban kutatásom céljával összhangban, a parti szűrésű vízáddot is magába foglaló felső néhány tíz méter vastagságú zóna földtani, vízföldtani viszonyait kerülnek részletezésre, a Váli-víz torkolat távlati vízbázis esetében ismertetett módon. Az előzőekben részletezettek miatt itt sem célom az alföldi régió mély- és sekélyföldtani viszonyainak, regionális vízföldtanának irodalmi adatokon nyugvó elemzése, mivel a PS rendszer részletesen feltárt és annak vizsgálata során peremekkel lezárt környezetét tekintem kutatási egységnek.

---

### 5.3.2.1 Felhasznált adatforrások, alkalmazott kutatási módszerek

A földtani felépítés megismeréséhez a területre vonatkozó archív geológiai adatok (AQUARIUS Kft. 1997b) (BP-I próbatermelő kút fúrási rétegsora (**2. melléklet 20. ábra**) mellett az SGSZ (2002b) kutatás során mélyült 21 db fúrás (**5.2 ábra** és **1. melléklet 3. táblázat**) 14 db rétegsorát (**2. melléklet 21-34. ábrák**), valamint a part területén mintegy 10 km<sup>2</sup>-es területen (Geomega Kft. 2001b) és a meder 2500 méteres szakaszán (Geomega Kft. 2001c) végrehajtott geofizikai vizsgálatok (**1. melléklet 3. ábra**) eredményeit használtam fel.

A 21 db fúrásból az 1 db kúthármasnak és az 1 db kútpárnak csak a legmélyebb fúrási rétegsorai kerültek kiértékelésre. Továbbá a termelőtelepen a PS kutatás szempontjából megfelelően sűrű földtani adateloszlás miatt külön nem lett mintázva a 4 db önálló potenciométer fúrása.

A rétegzettség feltárása és a rétegösszletek geometriájának megismerése után egymáshatás tesztek és talajfizikai vizsgálatok kiértékelésével meghatároztam a földtani közeg szivárgáshidraulikai paramétereit.

A sekélyföldtani összlet hidrosztratigráfiai tagolását ezután a Váli-víz torkolat távlati vízbázis esetén ismertetettek szerint végeztem el.

### 5.3.2.2 Part menti kutatási területen előforduló sekélyföldtani képződmények

2002-ben elvégeztem a mintaterületen mélyített 14 db fúrási rétegsor-leírását és újraértékeltem a geofizikai kutatások eredményeit, melyek alapján a területen előforduló sekélyföldtani képződményeket az alábbi földtani formációkba sorolom be.

*Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció* <sup>n</sup>*Pa*<sub>2</sub> (Jámbor Á. és Korpásné Hódi M. 1996)

Kora: Felső-pannóniai

Sárgásszürke, szürke agyag és vékonyabb agyagos homokrétegek váltakozásából felépülő tavi-folyóvízi összlet.

Vastagsága a terület alatt minimálisan több tíz méter, de alföldi analógia alapján a száz métert is eléri.

*Duna alluvium* <sup>f</sup>*Qp*<sub>3</sub> - *Qh* (Kaiser M. és Gyalog L. 1996)

Kora: Felső-pleisztocén – Holocén

Szürke kavics, kavicsos-homokos mederüledék; felfelé finomodó szürkésbarna homok, kőzetliszt, agyagos-kőzetlisztes ártéri üledék.

Átlagos vastagsága 49,5 m.

---

*Talaj* (saját leírás)

Kora: Újholocén

Öntés és öntés-réti talaj: a vizsgált terület döntő részét fedi; vékony (15-20 cm) humuszrétegű; magas mésztartalmú; vízdoldható sókat nem tartalmaz; felsőbb részein vasas (oxidatív), lejjebb tözegnyomos, szürke színű (reduktív).

Átlagos vastagsága: 0,5 m.

### **5.3.2.3 Vizsgált terület sekélyföldtani-, szerkezeti-, réteggeometriai-viszonyai**

A fentiekben említett, a földtani kép megismerésére irányuló kutatásaim, elemzéseim, valamint a szűk kutatási terület környezetét érintő archív adatok alapján az alábbiakban ismertetem a vizsgált terület sekélyföldtani képét.

A holocén-pleisztocén alluviális rétegsor fekszik a vizsgált területen átlagosan 50 méteres mélységben, fúrással elért, illetve geofizikai kutatással bemért felső-pannoniai agyagos, finomtörmelékes összlet képezi. E képződmény az archív fúrások adatai és a geofizikai mérések eredményei alapján többször 10 m vastagságú. A háttérben a fekvő felszíne a Duna-felé enyhén lejt, de a folyótól mért 200-400 m távolságtól kezdődően a Dunáig egyenetlenül kissé emelkedik (Geometa Kft. 2001b).

Az agyagos fekvő egy átlagosan 50 méter vastag, felfelé finomodó negyedidőszaki törmelékes rétegsor települ. Ez az összlet átlagosan az alsó 44 m-es részén kavics-, kavicsos homok-, homok rétegek váltakozásából épül fel. A rétegek gyakran a rájuk jellemzőtől eltérő szemcseméretű lencséként tartalmaznak **(2. melléklet 20-34. ábrák)**. A vizsgált területen Ny-, illetve D-felé a durvaszemcsés rétegek kiemelkednek (Geometa Kft. 2001b).

A negyedidőszaki összlet felső részén finomhomokos-közetlisztes agyag, tiszta agyag települ, mely képződmények vastagsága a próbatermelő telep környezetében átlagosan 5,5 m, míg a vizsgált terület távolabbi részein 0-10 m között ingadozik **(5.10 és 5.11 ábrák)**, (Geometa Kft. 2001b).

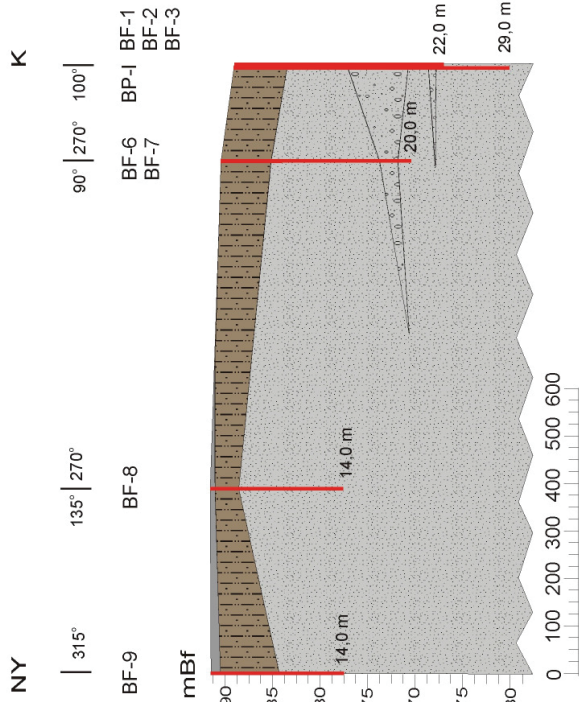
A finomtörmelékes fedőösszletet átlagosan 0,5 m vastagságban újholocén öntés, réti-öntés talaj zárja, mely azonban helyenként hiányozhat a rétegsorból.

# 5.10 ábra

Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis  
Dunára merőleges sekélyföldtani szelvény  
magasítás: 20x  
(a szelvény nyomvonalát az 5.2 ábra szemlélteti)

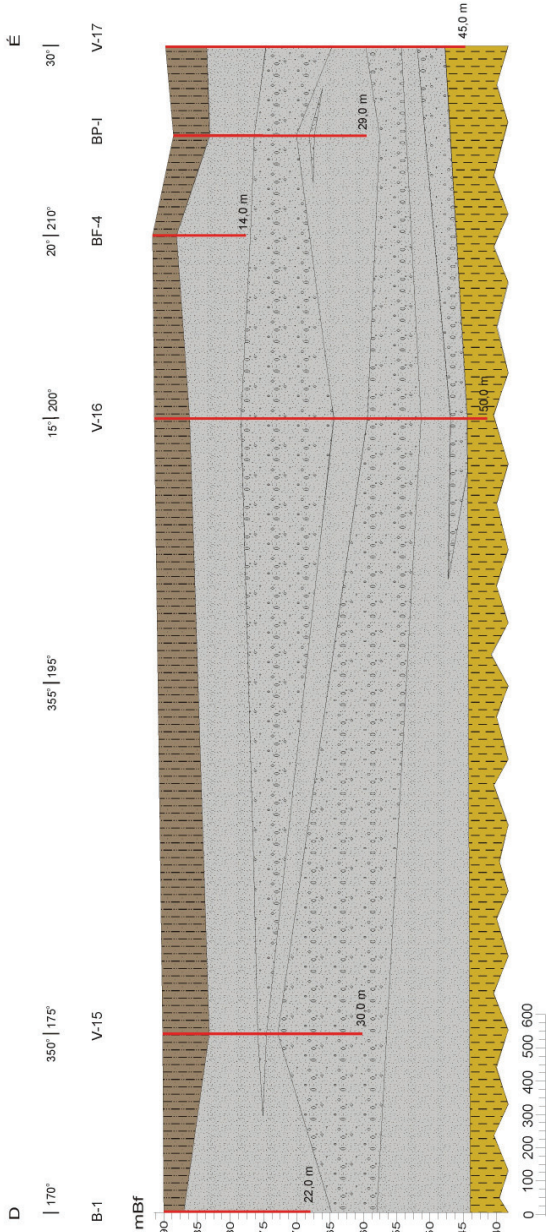
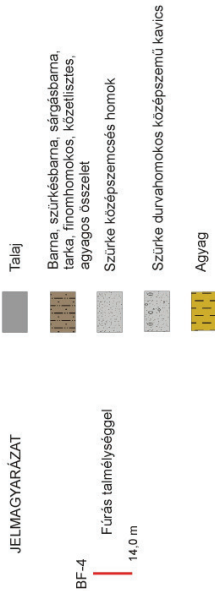
## JELMAGYARÁZAT

- Talaj
- Barna, szürkésbarna, sárgásbarna, tarka, finomhomokos, kőzetlisztes, agyagos összelet
- Szürke közép-durvaszemcsés homok
- Szürke durvahomokos középszemű kavics



### 5.11 ábra

Fadd-Dombor-Bogviszló távlati vízbázis  
2000. előtti mélyített fúrák adataival kiegészített,  
geofizikai mérésekkel pontosított,  
Dunáival párhuzamos sekélyföldtani szelvény  
magasítás:20x  
(a szelvény nyomvonalát az 5.2 ábra szemlélteti)



---

A földtani és a geofizikai (Geomega Kft. 2001b, 2001c) vizsgálatok alapján a távlati vízbázis területének negyedidőszaki rétegsora a próbatermelő telep környezetében vetőktől mentes. A rétegek hullámos felszínek mentén települnek egymásra, melyek a vizsgálati helyszín környezetében átlagos értékekkel megadott magasságú vízszintes síkokkal közelíthetők. Ezért a próbatermelő telep körül a rétegösszletek vastagsága egyenletesnek értékelhető: a több tíz méter vastag agyagos fekvőre átlagosan 44 m vastag kavicsos-durvahomokos réteg települ, melynek finomtörmelék, talajréteggel kiegészülő fedője átlagosan 6 m vastagságú.

#### **5.3.2.4 Földtani közeg szivárgáshidraulikai paraméterei**

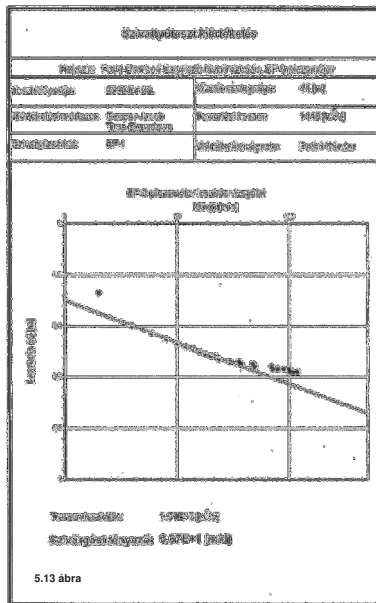
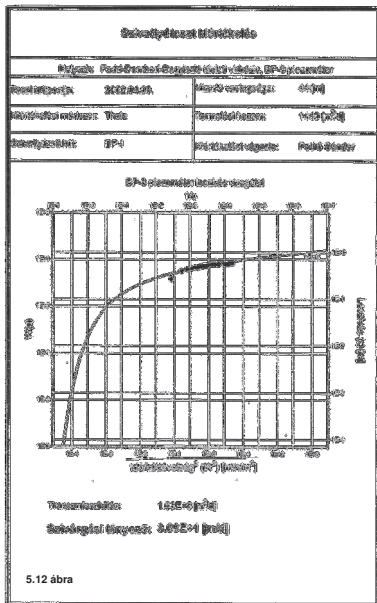
A földtani közeg szivárgáshidraulikai paraméterei 21 db szivattyúteszt, valamint a területen mélyített, a szennyezőforrás feltáró ideiglenes sekélyfúrásokkal együtt 21 db fúrás 14 db talajmintasorainak 50 db szemcseméret eloszlás vizsgálatát elvégezve, a képződményekre számított szivárgáshidraulikai adatok átlagolásával határoztam meg. A felhasznált vízszint-idősorok kijelölése, a hidraulikai értékelések folyamata és a kétféle módszerrel számított szivárgáshidraulikai adatok átlagolása az előző kutatási területnél ismertetett módszer szerint végeztem el (lásd **5.3.1.4.** és **5.3.1.5** fejezetek).

##### **5.3.2.4.1 Szivattyúteszt kiértékelés**

Az egymásrahatás vizsgálat hidraulikai kiértékelését a BF-1, BF-2, BF-3 figyelőkutak és a BP-1, BP-2, BP-3, BP-4 potenciométerek vízszint-idősorából (**3. melléklet 33-37. ábrák**) a 2002. április 8-i leszívás és a 2002. április 17-i visszatöltődés adatok felhasználásával végeztem el. A feldolgozott adatsorok (**4. melléklet 3. és 4. táblázat**) a Váli-víz torkolat távlati vízbázis adatainak értékelési tapasztalatai alapján viszonylag rövidek, de a számítások elvégzésére alkalmasak (**5.12-5.13 ábrák**) (**4. melléklet 41-60. ábrák**).

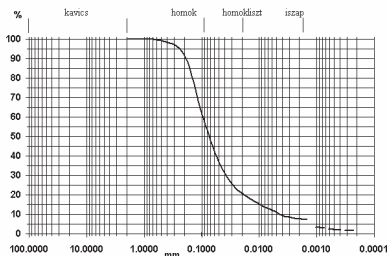
A felszín közeli vízadóra vonatkozó szivárgáshidraulikai paraméterek az AquiferTest 3.01 (Waterloo Hydrogeologic, Inc. 2001) szivárgáshidraulikai programmal Theis- és Cooper-Jacob-féle, valamint Theis visszatöltődéses (Theis recovery) módszerrel számítottam ki. A számításoknál figyelembe vettem, hogy a vízadót a termelőkút csak részlegesen harántolja szűrőzött szakaszával. A teszt értékelése során számításba vett objektumok körét a BP-I kút távolhatása és a vízszint-idősorok értékelhetősége (**5.5.2.2 fejezet**) határozta meg.





## Talajfizikai vizsgálati lap

Munkatérjelek neve:	Péld. Dombon-Bogrács	Kör vizsgálat:	szomszédos elosztás
A minta jellege:	talaj	A vizsgálat helye:	VITUKI Rt.
Minta azonosító:	BP-7/1.0	A vizsgálat ideje:	2002.02.28
Minta vételi ideje:	2002. január	A kísérleket végezte:	Pethő Sándor
Minta értékelő neve:	SMARA.GD-GSH Kft.	Megjegyzés:	
Bezárlás neve:	SMARA.GD-GSH Kft.		



Szálási adatok									
d mm				2.00	0.50	0.20	0.100		
%				99.9	99.4	91.8	61.2		

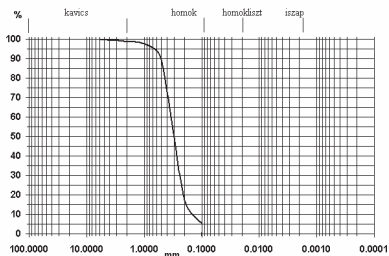
Hidrometriai adatok									
idő		0.5 perc	1 perc	2 perc	5 perc	15 perc	45 perc	2 óra	4 óra
d mm		0.0630	0.0480	0.0362	0.0245	0.0145	0.0084	0.0051	0.0037
%		44.8	35.8	29.1	22.6	18.1	14.0	9.0	7.2

Mértékadó szemcséméret (Zamatin) 0.0102 mm  
 Számított szivárgási tényező: 2.43E-07 m/s 2.10E-02 m/d

5.14. ábra

## Talajfizikai vizsgálati lap

Munkatérjelek neve:	Péld. Dombon-Bogrács	Kör vizsgálat:	szomszédos elosztás
A minta jellege:	talaj	A vizsgálat helye:	VITUKI Rt.
Minta azonosító:	BP-4/29.0	A vizsgálat ideje:	2002.02.28
Minta vételi ideje:	2002. január	A kísérleket végezte:	Pethő Sándor
Minta értékelő neve:	SMARA.GD-GSH Kft.	Megjegyzés:	
Bezárlás neve:	SMARA.GD-GSH Kft.		



Szálási adatok									
d mm				6.0	3.15	2.00	1.00	0.500	0.200
%				99.9	99.4	98.7	97.7	89.7	17.2

Hidrometriai adatok									
idő									
d mm									
%									

Mértékadó szemcséméret (Zamatin) 0.6020 mm  
 Számított szivárgási tényező: 8.39E-04 m/s 7.25E+01 m/d

5.15. ábra

A hidraulikai vizsgálatok eredményeit az **5.7 táblázatban** foglalja össze, a *Szivattyúteszt kiértékelés* jegyzőkönyveket az **5.14-5.15 ábrák** és **4. melléklet 41-61. ábrák** szemléltetik.

Dátum		2002.04.08.	2002.04.08.	2002.04.17.
Hidraulikai esemény		Leszívás	Leszívás	Visszatöltődés
Módszer		Theis	Cooper-Jacob Idő-leszívás	Theis-féle visszatöltődés
Szivárgási tényező (K[m/d])	BF-1	2,95E+1	2,95E+1	3,85E+1
	BF-2	3,81E+1	3,80E+1	5,49E+1
	BF-3	6,63E+1	6,60E+1	1,36E+2
	BP-1	3,66E+1	3,67E+1	7,15E+1
	BP-2	5,67E+1	5,61E+1	1,23E+2
	BP-3	3,69E+1	3,67E+1	7,03E+1
	BP-4	4,19E+1	4,19E+1	6,56E+1
	Átlag	5,59E+1		

**5.7 táblázat** A vízáadó hidraulikai tesztek alapján számított szivárgási tényezője (K [m/d]), Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis

A szivárgási tényező hidraulikai vizsgálatokkal kapott eredményeinek átlaga 5,59E+1 m/d a parti szűrésű a vízáadó durvahomokos, kavicsos-homokos rétegösszlet vonatkozóan a próbatermelő telep körzetében.

#### 5.3.2.4.2 Talajfizikai vizsgálatok

A területen mélyített 8 db sekélyfúrás és 13 db kútfúrás földtani rétegsorainak ismeretében meghatározott mélységekből, mélységközökből összesen 50 db talajminta szemcseméret-eloszlása került meghatározásra. Ezekből Zamarin-féle számítási módszerrel (Zamarin 1954) meghatároztam a finom- és a durvatörmelékcs képződmények szivárgási tényezőjét. A kiértékelésekről készült *Talajfizikai vizsgálati lap* jegyzőkönyveket az **5.14-5.15 ábrák** és a **4. melléklet 114-163 ábrák** mutatják be.

Az adatokat összefoglaló **5.8 táblázatban** az adott fúrások földtani rétegsorainak ismeretében kiszűrtem a fedőösszletet általánosan jellemző negyedidőszak **agyagos, agyagos-közetlisztes** rétegek szivárgási tényező értékeit. Ugyanezt elvégeztem a rétegsorokban markánsan megjelenő, szintén negyedidőszak **kavicsos homok** összlet adataira is. A számsorból két adatot nem kategorizáltam a fenti csoportokba (BF-3, 10 m, K=2,27E-1 és BTF-4, 9,5 m K=1,06E-2 m/d), mivel ezek csupán a kavicsos-durvahomokos rétegben megjelenő vékony, lokális kiterjedésű finomtörmelékcs lencsére vonatkozó értékek.

Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]	Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]	Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]	Fúrás	Mélység [m]	K [m/d]
BF-3	5	6,38E+0							BTF-4	7	8,13E+1
BF-3	10	2,27E-1	BF-7	0,5	1,33E-2	BP-4	29	7,25E+1	BTF-4	9,5	1,06E-2
BF-3	16	9,57E+1	BF-7	1	2,10E-2	BP-4	34	1,12E+2	BTF-5	2,5	3,17E-3
BF-3	22	3,61E+0	BF-7	5	5,60E+1	BTF-1	0,5	4,93E-3	BTF-5	7	1,45E-1
BF-4	0,5	2,37E-3	BF-7	15	6,76E+1	BTF-1	2	1,47E-1	BTF-6	1	5,44E-3
BF-4	1	4,57E-3	BF-7	18	7,56E+1	BTF-1	5	2,92E-1	BTF-6	3	2,07E-2
BF-4	3	1,67E-2	BP-1	0,5	5,12E-3	BTF-2	0,5	1,96E-3	BTF-6	8	1,13E+1
BF-4	6	7,74E-3	BP-1	2,5	6,18E-3	BTF-2	1	4,88E-3	BTF-7	5	6,92E+1
BF-4	10	2,94E+1	BP-1	12	1,03E+1	BTF-2	2,5	1,90E-2	BTF-7	9	7,05E+1
BF-5	0,5	2,35E-3	BP-2	0,5	2,93E-3	BTF-2	5	2,37E-1	BTF-8	1	3,04E-3
BF-5	1	1,94E-3	BP-2	2,5	4,93E-3	BTF-3	1,5	2,04E-2	BTF-8	2,5	8,05E-4
BF-5	10	4,82E+0	BP-2	15	8,48E+0	BTF-3	7	9,24E+1	BTF-8	5	4,97E-3
BF-5	20	1,35E+2	BP-4	0,4	3,79E-3	BTF-4	0,5	4,48E-3	BTF-8	8	1,47E-2

**5.8 táblázat** A talajfizikai vizsgálatok alapján számított szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis

A két összlet szemcseméret elemzés alapján számított szivárgási tényező értékeit külön-külön átlagoltam (**5.9 táblázat**), meghatározva ezzel azok jellemző értékeit.

Réteg	Agyag, agyagos kőzetliszt	Kavicsos homok
Szivárgási tényező (K [m/d])	3,41E-2	5,57E+1

**5.9 táblázat** Az egyes képződményekre a szemcseméret elemzés alapján jellemző szivárgási tényező (K [m/d]) értékek, Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis

### 5.3.2.5 Hidrosztratigráfiai tagolás

A fenti földtani- és geofizikai adatok, valamint a szivárgáshidraulikai paraméterek ismeretében meghatároztam a területre vonatkozó sekély hidrosztratigráfiai tagolást (**5.10 táblázat**). A parti szűrésű rendszer fedő–vízadó-fekü egységekre különíthető el. A fedőréteg egyöntetűen finomtörmelékes, felfelé kissé finomodó, átlagosan 6 m vastagságú. A vízadó átlagosan 44 m vastagságú. A durvatörmelékes összlet horizontálisan és vertikálisan is kissé változókéony kifejlődésű (**5.6 és 5.7 ábrák**), azonban az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján

egy vízföldtani egységnek tekintem. Az ez alatt települő, több tíz méter vastagságú agyagos fekére nem rendelkezem mérések alapján számított szivárgáshidraulikai paraméterekkel, átlagos szivárgási tényező értékét a Váli-víz torkolat távlati vízbázis területén hasonló kifejlődésű képződményen végzett vizsgálatok és szakirodalmi adatok (Freeze és Cherry 1979) alapján becsülöm meg. A hidrosztratigráfiai tagolást és a vízföldtani egységekre meghatározott jellemző szivárgási tényező értéket az alábbi **5.10 táblázat** foglalom össze.

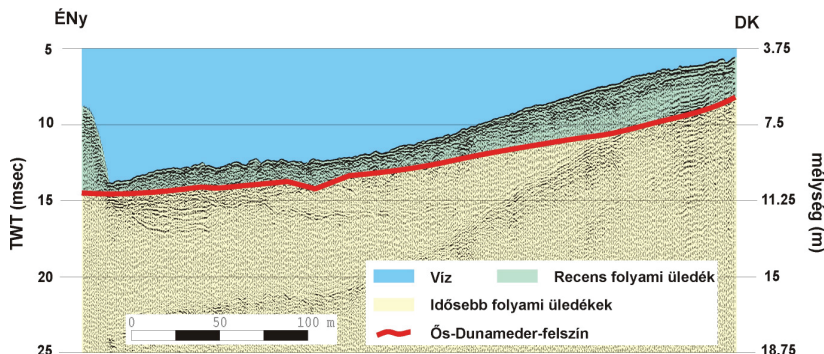
Szivárgási tényező számítások eredményei		Átlagos vastagság [m]	$K_{\text{szemeloszlás}}$ alapján [m/d]	$K_{\text{hidraulika}}$ alapján [m/d]	$K_{\text{átlag}}$ [m/d]
Hidrosztratigráfia i egység	Fedő	6	3,41E-2	-	3,41E-2
	Vízadó	44	5,57E+1	5,59E+1	5,58E+1
	Fekü	>>10	becsült: 1,00E-3	-	1,00E-3

**5.10 táblázat** Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis sekély-hidrosztratigráfiai egységei és azok szivárgási tényező ( $K$  [m/d]) értékei

### 5.3.2.6 Duna-meder geometriája, földtani felépítése

A Duna medre a vizsgált jobb oldali partszakasz előtt – a Duna nagy ívű balkanyarja miatt – meredeken ( $1,40E+0$  m/m) lejt a partéltre merőleges szelvényben (**5.16 ábra**), átlagos felszíne a próbatermelő telep előtti széles sávban 75 mBf szinten húzódik (Geomaga Kft. 2001c). A medergeofizikai mérések alapján, a mederfelszínen nem tapasztalható jelentős feliszapolódás (Geomaga Kft. 2001c).

A keresztrétegzett szerkezetű mederüledékben reflektálódó markáns felület egy hosszabb ideig működő Ős-Dunameder-felszín horizontját jelöli ki (**5.16 ábra**). A mederszeizmikai kutatás alapján anyagukban, szerkezetükben azonos recens és idősebb folyami üledékek e felszín mentén érintkeznek egymással. A negyedidőszaki összetlenek, a parton végzett elektromos geofizikai (VESZ) mérések (Geomaga Kft. 2001b) eredményei alapján megállapított feküfelszíne ezzel a horizonttal nem összevethető, mert az jóval mélyebben helyezkedik el az ősmederet jelző szeizmikus felszínhez képest. A meder alatt a negyedidőszaki-pannóniai réteghatár nagy valószínűséggel, és jó közelítéssel a parton végzett mérések alapján megállapított szinten húzódik, melynek átlagos tengerszint feletti magassága 45 mBf.



**5.16 ábra** A Dúnán az 1505,4 fkm-nél mért, értelmezett szeizmikus keresztmetszvény (Geomega Kft. 2001c nyomán módosított ábra)

A vizsgálati helyszín előtt húzódó széles jobb oldali medersáv alatt a vízadó recens durvakavicsos összetételű átlagos vastagsága 1,5 m, mindenhol jelen van, és kapcsolatban van a Duna vizével. Ez alatt további mintegy 28,5 m vastagságban az idősebb durvatörmelékös folyami üledék települ, melynek felső részét a mederszeizmikus mérések is feltárták 18,75 méteres mélységig (**5.16 ábra**). A képződési korától függetlenül egyöntetűen durvatörmelékös, egységes mederüledék átlagos összvastagsága a vizsgált partszakasz előtti széles sávban 30 m, majd kb. a mederszélesség egyharmadától DK-irányába fokozatosan növekszik, a túlsó parton már eléri a 35-40 métert. Tekintettel a kutatási terület jobb parti helyzetére, a vizsgálatok szempontjából a mederüledékek vastagságát a továbbiakban egységesen 30 méteresnek tekintem.

## 5.4 CSAPADÉK ÉS BESZIVÁRGÁSI VISZONYOK

### 5.4.1 Váli-víz torkolat

A csapadék éves átlaga Ercsiben, a vizsgált területhez legközelebbi csapadékmérő állomáson, az 1961-1990 között mért 30 éves adatsor alapján 516 mm/év (Országos Meteorológiai Szolgálat 1991). A csapadékeloszlás egyenetlen, de a nedves és száraz időszakok éves szinten kiegyenlítik egymást (Országos Meteorológiai Szolgálat 1991).

Részletes helyszíni beszivárgás-vizsgálat hiányában, a hazai gyakorlatban közelítésként alkalmazottak szerint a csapadékból történő éves átlagos elsődleges

---

beszivárgás az éves átlagos csapadékmennyiség 10%-aként becsülhető porózus képződményekkel fedett síkvidéki területeken, mivel a felületi párolgás mellett a lassan felszín alá beszivárgó csapadék nagy része is elpárolog a kapillaris zónából. Ez a kutatási területen 52 mm/év elsődleges – azaz a felszín alá beszivárgó, de a felszín alatti vízkészletet nem feltétlenül tápláló – beszivárgást eredményez.

A vizsgálati területen a talajvíztükör felszín közeli helyzete miatt, a finomtörmelékes üledékekre vonatkozó talajvízháztartási görbék alapján a 3,5 méternél sekélyebb talajvíztükör felszínéről is történik párolgás az év jelentős részén (Tóth 1986). Ez a talajvízháztartás szempontjából negatív vízmérleget eredményez a csapadék eredetű beszivárgás tekintetében, mely az alábbi átlagos adatokkal jellemezhető: 52 mm/év csapadék eredetű elsődleges beszivárgás; 85 mm/év sokévi átlagos aktuális evapotranspiráció 3,5 méteres hatómélységig (Tóth 1986); 33 mm/év átlagos párolgási talajvízvesztesség.

#### **5.4.2 Fadd-Dombori-Bogyiszló**

A csapadék éves átlaga Bátyán, a vizsgált területhez legközelebbi meteorológiai mérőállomáson az 1961-1990 között mért 30 éves adatsor alapján 555 mm/év (Országos Meteorológiai Szolgálat 1991). A csapadékeloszlás, a partmenti sáv domborzati és felszíni földtani viszonyai hasonlóak a Váli-víz esetén ismertettekkel, így tekintettel a beszivárgás becslés **5.4.1 fejezetben** tárgyalt megközelítésére és a talajvíztükör szintén felszín közeli helyzetére a távlati vízbázis területén 55 mm/éves elsődleges beszivárgás és 3 m mélységig lehatoló, 55 mm/év (Tóth 1986) párolgás mellett a vizsgált hidrogeológiai alrendszer komponensei az éves átlagos értékeiket tekintve egyensúlyban vannak.

### **5.5 FELSZÍN KÖZELI VÍZADÓ HIDRAULIKAI VISZONYAI**

Az alábbiakban a két vizsgálati terület felszín közeli vízádjának hidraulikus potenciálviszonyait elemzem, a próbaüzemeltetés időszakában és az azt követő fél éves monitoring időszaka alatt regisztrált vízszintadatok alapján.

A felszín közeli vízádók jellemző hidraulikus potenciálfelszíneinek megszerkesztéséhez a kutatásban eddig bemutatott objektumok mellett, további kutak vízszint adatait is felhasználom (**3. melléklet 1. és 2. táblázat**): A kizárólag ennél a kiegészítő kutatási módszernél alkalmazott objektumokat csak a vonatkozó

---

tematikus térképeken (**5.17 és 5.20 ábrák**) tüntettem fel, és helyzetüket megadó koordinátaikat – feldolgozott vízszint adataikkal együtt – csak a **3. melléklet 1. és 2. táblázatban** közlöm.

### **5.5.1 Váli-víz torkolat**

#### **5.5.1.1 Jellemző természetes hidraulikus potenciál-eloszlás**

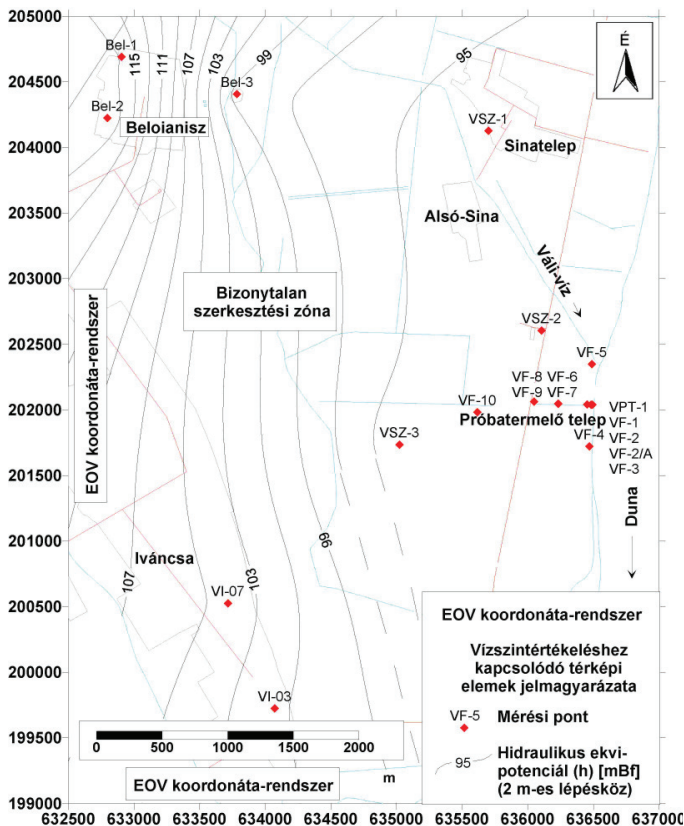
A terület felszín közeli vízadójára jellemző természetes hidraulikus potenciáeloszlást az **5.17 ábrán** közölt térkép alapján elemzem.

A Váli-víz torkolat távlati vízbázis területén a felszín közeli vízadó átlagos, az év jelentős részére jellemző hidraulikus potenciálterének felszíne a háttér felől a Duna-felé lejt. A vizsgált terület léptékében a vízadóban a természetes felszín alatti vízáramlás fluxus vektorának fő komponense – a később tárgyalandó vízszint-idősor elemzések alapján – vízszintes, melynek fő iránya Ny–K-i (**5.17 ábra**).

A Dunára merőleges szelvényben Ny-on, egy a lösz-magaspart felé emelkedő nagyobb (6,75E-3 m/m) gradiensű, míg K-en a sík területeken, egy átlagosan 2,00E-3 m/m gradiensű, enyhe lejtéssel jellemezhető hidraulikus potenciálfelszín különíthető el. A part menti 1,5 km-es sávban ez a felület – az igen enyhe folyó, felé irányuló valós lejtés mellett – méginkább ellaposodik, lejtése 1E-3 m/m alattivá válik, azaz gyakorlatilag vízszintesnek értékelhető. A kísérleti termelőtelep környezetében, a VF-4 és VF-5 figyelőkutak adatai (**3. melléklet 1. táblázat**) alapján a hidraulikus potenciálfelszín É–D-i irányú lejtése átlagosan 2,55E-4 m/m, ami a vizsgálatok szempontjából szintén elhanyagolható. A talajvíztükör felszíntől mért átlagos mélysége az öblözet sík területén, az év jelentős részében 2-3 m.

Az **5.17 ábrán** a felszín közeli vízadóra bemutatott hidraulikus potenciálfelszín térképét a SMARAGD-GSH Kft. (2002a) által a tágabb kutatási területen használt összes (20 db) mérési pont 2002. június 27-i vízszint adatai (**3. melléklet 1. táblázat**) alapján szerkesztettem meg. Az adatpontokhoz rendelt hidraulikus potenciálértékeket ( $h$  [mBf]) (**3. melléklet 1. táblázat**) a hidraulikus potenciálfelszín jobb áttekinthetősége érdekében a térképen külön nem tüntettem fel.

Tekintettel az ezzel a vizsgálattal elérendő célomra, miszerint kapjunk áttekintő képet a mintaterület és környezete felszín közeli vízadójának hidraulikus potenciálviszonyáról, a manuális interpolációval végezett szerkesztési eljárást megfelelőnek ítéltam a szemléltető térkép (**5.17 ábra**) elkészítéséhez.



5.17 ábra A felszín közeli vízadó év döntő hányadára jellemző, szerkesztett természetes hidraulikus potenciálfelšíne, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, 2002. június 27.

### 5.5.1.2 Vízzint-idősor elemzések a próbaüzem időintervallumában

A próbaüzem időszakát (2002. január 15. - 2002. március 4.) felölölő, vízszint-idősor elemzésekhez felhasznált folyamatos észlelésű objektumok Jelölt által szerkesztett grafikonjait a **3. melléklet 1-15. ábrák** szemléltetik.

A Duna áradási-apadási eseményei kapcsán a **3. melléklet 1-13. ábrákon** bemutatott görbéken megfigyelhető, hogy a folyó néhány nap alatt lezajló, 1-1,5 m-t meghaladó vízszint változásainak távolhatása valamivel a VF-6–VF-7 figyelőkútpártól Ny-ra, azaz a Dunától mintegy 250 m-re tehető. A távolabbi kutak (VF-8–VF-9,



---

VF-10) vízszint-idősorain **(3. melléklet 14. és 15. ábrák)** már csak a folyó hosszabb periódusú vízszint-változásainak hatása mutatkozik. A folyó kismértékű vízszint-változásai azonban csak a partmenti mintegy 50 m-es sávban jelentkeznek **(3. melléklet 1-12. ábrákon)**, a parttól távolodva csökkenő mértékkel, néhányszor tíz perc – egy-két óra közötti időintervallumon belül.

A fentiek alapján a felszín közeli vízáadó vízének utánpótlódása természetes állapotban a szűk partmenti régióban alkalmanként, kis mértékben a Duna felől is történhet, az aktuális Duna-vízállástól és a vízáadó hidraulikus potenciálszintjétől függően. A természetes parti szűrés által érintett part menti sáv szélessége viszont nem azonos, hanem jóval kisebbre tehető a folyó hidraulikai hatása által leginkább érintett 50 m szélességű part menti régióénál, ennek pontos meghatározása azonban nem képezte a kutatás tárgyát. Ez a hidraulikai adatokkal kimutatott folyóvíz-betápláló mechanizmus a Váli-víz torkolat távlati vízbázis szakaszán a 93-94 mBf fölé emelkedő Duna-vízszint esetén lép föl, az áradási periódusok kezdetén és az azt követő néhány napban. A későbbiekben a tartósan magas vízállás (94-96 mBf) esetén egyensúlyi hidraulikai állapot alakul ki a folyó és a felszín közeli vízáadó között, mely a folyamat leállásához vezet. A Váli-víz torkolat térségében a dunavíz felszín közeli vízáadóba történő természetes beszűrődése mind térben, mind időben rendkívül korlátozott, jelentősége a vízkivétellel történő parti szűréshez viszonyítva csekély, a távlati vízbázis partszakaszán gyakorlatilag elhanyagolható.

Vízkivétel esetén a VPT-1 próbatermelő kút távolhatása a tőle 28 m-re lévő VF-3 figyelőkútban **(3. melléklet 10. ábra)** néhány centiméteres-deciméteres vízszintcsökkenéssel, viszonylag jól nyomonkövethető minden termelési állapotban. Az ettől távolabbi kutakban már a maximális víztermelési hozamnál ( $Q \sim 1492 \text{ L/p}$ ) jelentkező legnagyobb vízszint-süllyedések sem nyomonkövethetőek, sem a háttér irányába (VF-6–VF-7, VF-8-VF-9 és VF-10 **(3. melléklet 13-15 ábrák)**), sem a part mentén (VF-4, VF-5 **(3. melléklet 11-12 ábrák)**). Ezek az adatok kijelölik azt a VPT-1 körüli 200 m-es zónát, amin belül a maximális termelés hatására kialakuló depresszió is belesimul a felszín közeli vízáadó természetes hidraulikus potenciál-felszínébe, azaz a próbatermelő kút maximális víztermelésekor fellépő távolhatása nagyobb, mint 30 m és kisebb, mint 200 m.

A kavicsos-homokos összlet hidraulikai viselkedése különböző helyszíneken vertikálisan is vizsgálat tárgyát képezte. Az eltérő mélységeibe szűrőzött VF-1–VF-2–VF-2/A kúthármas **(3. melléklet 9. ábra)**, valamint a VF-6–VF-7 **(3. melléklet**

---

**13. ábra)** és VF-8–VF-9 (**3. melléklet 14. ábra**) kútpárok tagjainak pontonként jó közelítéssel azonos lefutású vízszint-idősorai alapján a vízáadó egy hidraulikai egységként értelmezhető. A fentiek szerint a hidraulikus ekvipotenciálok kvázi függőleges lefutásúak a vízáadó vertikumában, a vízáramlás fő komponense horizontális, azaz a felszín közelében a vízáramlás kvázi vízszintes, egymással párhuzamos áramvonalak mentén történik. Ez a helyzet, az adatok alapján a próbatermelő kút közvetlen környezetében és attól távolabb is fennáll.

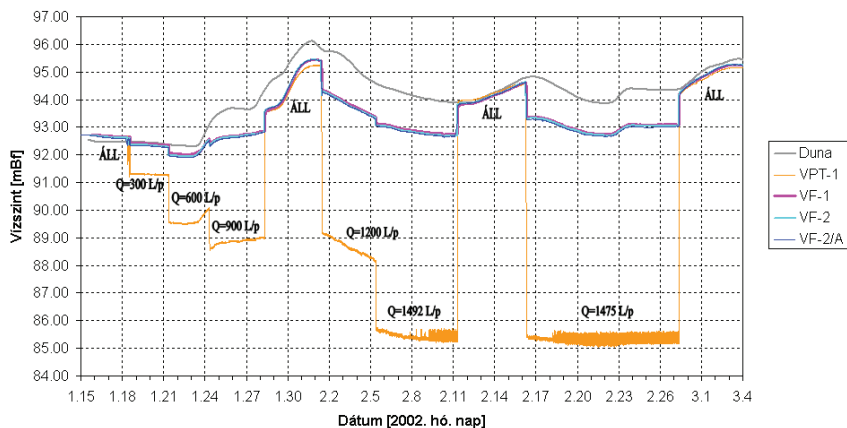
### **5.5.1.3 Vízszint-idősor elemzések a teljes monitoring időszakában**

A próbaüzemeltetés (2002. január 15. – 2002. március 4.) követően, 2002. március 12. – 2002. szeptember 28. között hetenkénti rendszerességgel mértük az állandó kiképzésű termelőkút, figyelő- és szennyeződésfeltáró kutak, valamint a VP-7 állandó potenciométer vízszintjeit (**5.18-5.19 ábrák**) és (**3. melléklet 16-31. ábrák**), melyeket az alábbiakban értékelek.

A féléves monitoring eredményei alapján a Duna áradási-apadási eseményei főként a partmenti 50 méteres sávban éreztetik a talajvízjárásra gyakorolt hatásukat (**3. melléklet 16-23. ábrák**), mely a parttól 250-300 m-ig (**3. melléklet 24. és 25. ábrák**), nagyobb áradások esetén 400-450 m-ig (**3. melléklet 26. és 27. ábrák**) távolodva fokozatosan lecseng. A Duna-vízállás jelentősebb, hosszabb időszak alatt lezajló változásai viszont az öblözet nagyobb területére kihatnak, mérésekkel igazolt felszín közeli hidraulikus potenciálszint csökkenést, illetve emelkedést okozva a folyóparttól 1,5 km-es távolságban is (**3. melléklet 16-31. ábrák**).

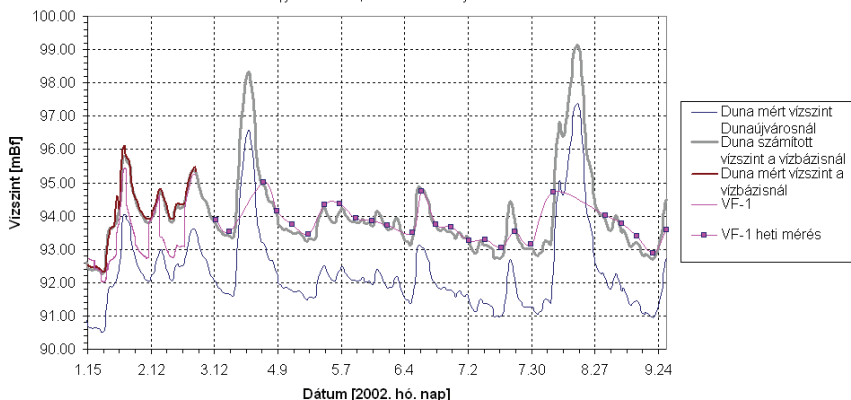
A vizsgált 2002. évben két nagy árvízi elöntés volt a területen, március és augusztus hónapok második felében. Az áradás a felszín közeli vízádóra az öblözet egész területén kihatott, 1-1,5 méteres hidraulikus potenciálszint emelkedést okozva. Az árvizeknek a felszín közeli vízáadó hidraulikus potenciálszintjére gyakorolt markáns hatása azonban az áradások levonulta utáni második-harmadik héten már nem kimutatható (**3. melléklet 16-31. ábrák**), azaz ezek a viszonylag hirtelen levonuló zöldárak nem gyakorolnak jelentős hatást a felszín közeli vízrendszer éves vízforgalmára.

Váli-víz-torkolat távlati vízbázis  
VF-1, VF-2 és VF-2/A figyelőkúthármas vízszint-idősora 2002.01.15-től 2002.03.04-ig  
Feltüntetve a Duna (1803,4 fkm) és a VPT-1 próbatermelő kút vízszint-idősora, valamint a VPT-1 vízhozamai



5.18 ábra

Váli-víz torkolat távlati vízbázis  
VF-1 figyelőkút vízszint-idősora  
a teljes monitoring időszakban 2002.01.15-től 2002.09.28-ig  
(2002.03.13-től 2002.09.28-ig heti mérések)  
Feltüntetve a vízbázisnál a próbatermelés időszakában mért és a monitoring teljes időszakára a dunaiyvárosi vízmérce adatai alapján számított, valamint a dunaiyvárosi vízmércén mért Duna-vízszint-idősor



5.19 ábra



---

A terület felszín közeli vízádjára jellemző természetes hidraulikus potenciáeloszlást az **5.20 ábrán** közölt térkép alapján elemzem.

Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis területén a felszín közeli vízádját átlagos, az év jelentős részére jellemző hidraulikus potenciálterének felszíne a háttér felől a Duna-felé lejt, melynek mértéke  $3,30E-4$  m/m, azaz a PS vizsgálatok szempontjából gyakorlatilag elhanyagolható. A felszín közelében a természetes vízáramlás fluxus vektorának fő komponense – az alábbi vízszint-idősor elemzések alapján – a vizsgált léptékben vízszintes, melynek fő iránya ÉNy-DK-i (**5.20 ábra**). A háttérben ezt a képet a terület felduzzasztott Duna-holtágai vízbetápláló szerepük miatt lokálisan módosítják. A mesterségesen magas víznívón tartott Faddi- és Tolnai-Duna, önmaguktól D-re mintegy 0,5-1 km-es sávban É-D-i felszín alatti vízáramlást indukálnak. Ezekről eltekintve a felszín közeli vízádban történő vízáramlásnak a terület nagy részén elhanyagolható az É-D-i, Dunával nagyjából párhuzamos irányú komponense, mivel a hidraulikus potenciálfelszín lejtése a termelőtelep környezetében, a V-17 és a BF-4 figyelőkutak adatai (**3. melléklet 2. táblázat**) alapján mindössze  $1,00E-4$  m/m. A talajvíztükör felszíntől mért mélysége az év jelentős részében a part menti sávban 1-3 m között alakul.

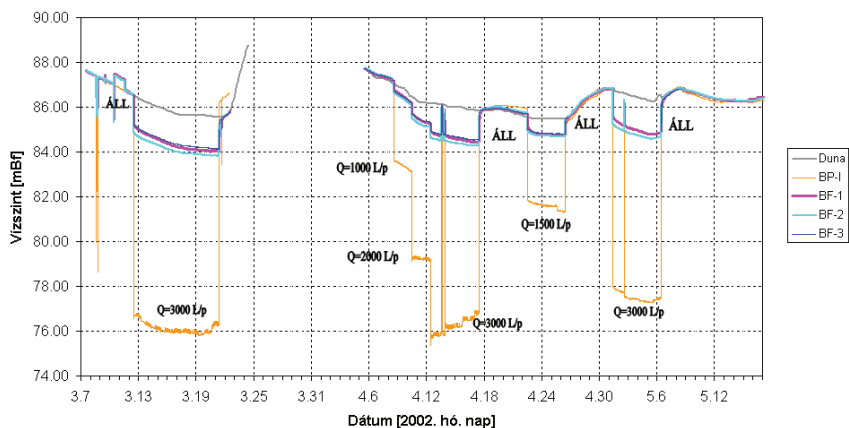
Az **5.20 ábrán** a felszín közeli vízádra bemutatott hidraulikus potenciálfelszín térképe a SMARAGD-GSH Kft. (2002b) által a tágabb kutatási területen felhasznált összes (32 db) mérési pont 2002. április 21-i vízszint adatai (**3. melléklet 2. táblázat**) alapján, az **5.5.1.1 fejezetben** ismertetett szerkesztési eljárással készült.

### **5.5.2.2 Vízszint-idősor elemzések a próbaüzem időintervallumában**

A próbaüzemeltetés időszakára (2002. március 7. – 2002. május 17.) vonatkozó hidraulikai elemzését a kísérleti telep körzetében lévő 16 db objektum folyamatos vízszint-idősora (**5.21-5.22 ábrák**), (**3. melléklet 32-43. ábrák**) alapján közlöm.

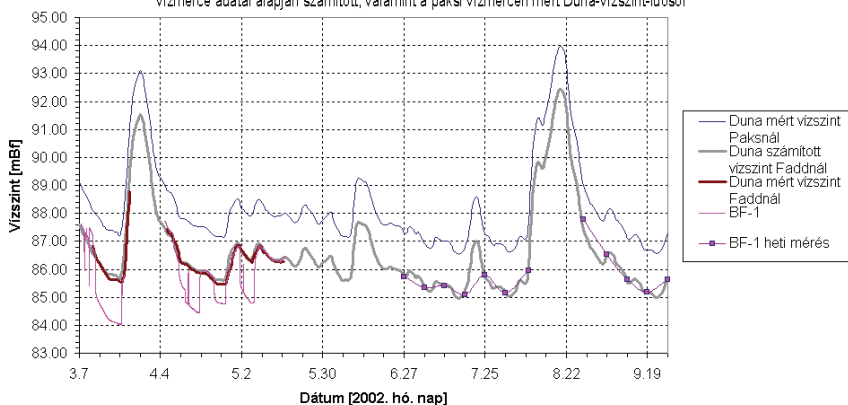
A Duna áradási-apadási eseményei kapcsán a vízszint-görbéken megfigyelhető, hogy a folyó hirtelen vízszint változásainak távolhatása, valamivel a BF-6–BF-7 figyelő kútpártól (**3. melléklet 40. ábra**) Ny-ra, azaz a Dunától mintegy 200 m távolságra tehető. A távolabb, 850 m-re lévő BF-8 figyelőkút vízszint-görbéjén (**3. melléklet 41. ábra**) már csak a Duna jelentős március végi áradásának enyhe hatása mutatkozik, míg a legmesszebb lévő BF-9-es kút esetében (**3. melléklet 42. ábra**) már az sem, csupán a folyó trend jellegű vízszint változása nyomozható.

Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis  
 BF-1, BF-2 és BF-3 figyelőkúthármas vízszint-idősora 2002.03.07-től 2002.05.17-ig  
 Feltüntetve a Duna (1505,9 fkm) és a BP-I próbatermelő kút vízszint-idősora, valamint a BP-I vízhozamai



5.21 ábra

Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis  
 BF-1 figyelőkút vízszint-idősora  
 a teljes monitoring időszakban 2002.03.07-től 2002.09.26-ig  
 (2002.06.27-től 2002.09.26-ig heti mérések)  
 Feltüntetve a vízbázisnál a próbatermelés időszakában mért és a monitoring teljes időszakára a paksi vízmérce adatai alapján számított, valamint a paksi vízmércén mért Duna-vízszint-idősor



5.22 ábra

---

A vízszint-idősorok rámutatnak, hogy a Váli-víz torkolat távlati vízbázis területéhez hasonló módon és körülbelül hasonló mértékben a felszín közeli vízáadó utánpótlódása természetes nyugalmi állapotban a szűk partmenti régióban alkalmanként, kis mértékben a Duna felől is történhet, az aktuális Duna-vízállástól és a felszín közeli vízszint helyzetétől függően. Ez a hatás a Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis Duna-szakaszán a 86 mBf fölé emelkedő Duna-vízszint esetén lép föl, főként az áradási periódusok alatt és az azt követő néhány napban. Tartós vízállás, amely lehet kis, közepes, vagy nagy esetén azonban a part közelében egyensúlyi hidraulikai állapot alakul ki a folyó és a felszín közeli vízáadó között.

A termelőkút távolhatása a BP-1, BP-2, BP-3 és BP-4 potenciométereken (**3. melléklet 33-36. ábra**) és a part menti BF-1-BF-2-BF-3 kúthármas (**3. melléklet 37. ábra**) tagjain kívül, még a 25 m-re lévő BF-5-PI-4 figyelőkútpár (**3. melléklet 39. ábra**) tagjaiban is néhány centiméteres vízszint csökkenéssel, viszonylag jól nyomonkövethető minden termelési állapotban. Az BF-5-PI-4 kútpártól távolabbi kutakban már a maximális hozamnál ( $Q=3000$  L/p) jelentkező legnagyobb vízszint-süllyedések sem nyomonkövethetőek, sem a háttér irányába (BF-6–BF-7) (**3. melléklet 40. ábra**), sem a part mentén (BF-4, V-17) (**3. melléklet 38. és 43. ábra**). A fenti adatok szerint a BP-I kút maximális termelése hatására kialakuló depressziós felület 40-50 m-es távolságon belül belesimul környezete természetes hidraulikus potenciálfelszínébe. Alacsonyabb ( $Q=1500$  L/p) hozamú vízkivétel már a termelőkúttól 25 m-re lévő BF-5, PI-4 figyelőkutakban is alig, csak néhány cm-es vízszint-eséssel érezhető hatását, azaz ennél a hozamnál a távolhatás mértéke a háttér irányába 30-35 m-re tehető.

A durvatörmelékcső összlet különböző mélységeibe szűrőzött BF-1–BF-2–BF-3 kúthármas (**3. melléklet 37. ábra**), valamint a BF-5-PI-4 és BF-6–BF-7 kútpárok tagjainak (**3. melléklet 39. és 40. ábrák**) hidraulikai viselkedése alapján a vízáadó egy hidraulikai egységként értékelhető. A part menti kúthármas esetén azonban megfigyelhető (**3. melléklet 37. ábra**), hogy a BP-I kúttal közel azonos horizonton szűrőzött (**1. melléklet 3. táblázat**) BF-2 figyelőkút vízszint értékei egyre jelentősebb termelés hatására, bár kis abszolút értékek mellett, de mindinkább alacsonyabbak, mint a sekélyebb BF-1 és a mélyebb BF-3 kútagok vízszint értékei. A távolabbi kútpároknál az egyes tagok vízszint-idősor görbéi (**3. melléklet 39. és 40. ábrák**) viszont már nem válnak el egymástól. A fentiek azt mutatják, hogy víztermelés hatására a BP-I kút szűk környezetében a felszín alatti vízáramlásnak kimutatható vertikális komponense van, amely a termelőkúttól 25 m-re már kevésbé érzékelhető.

---

Víz kivétel során tehát a termelőkút oldalirányból, a folyó és a háttér felől a vízádból, felülről, a folyó felől közvetve a folyóból, valamint alulról, a vízádó alsóbb részéből is táplálkozik. (Megjegyzendő, hogy a BF-5-PI-4 figyelőkútpár leszívási adatai a szivattyúteszt kiértékeléshez már nem voltak alkalmasak, ezért a számításokhoz a Kruseman és De Ridder (1983) által javasolttól eltérően a vízádóvastagsággal azonos sugarú, BP-I középpontú körön belül lévő vízszintészlelő objektumok adatai kerültek felhasználásra, azok, ahol a – vizsgált helyszín esetében nem jelentős – vertikális vízáramlás már érzékelhetően jelentkezik. Ezt a jelenséget ismerve és a BP-I kút esetén kimutatva, a szivárgáshidraulikai adatok kiértékelésénél **(5.3.2.4.1 fejezet)** a vízádót szűrővel nem teljes mértékben harántoló termelőkút hatása az alkalmazott értékelő szoftver (Waterloo Hydrogeologic, Inc. 2001) által biztosított módon, korrigálva lett figyelembe véve.

#### **5.5.2.3 Vízszint-idősor elemzések a teljes monitoring időszakában**

A próbaüzemeltetés időszaka (2002. március 11. - 2002. május 17.) után, 2002. június. 27. - 2002. szeptember 28. között heti rendszerességgel mértük az állandóra kiképzett termelőkút, a 2001-ben és néhány régebben kialakított figyelőkút vízszintjét **(3. melléklet 44-55. ábrák)**, melyeket az alábbiakban értékelek.

A fél éves időtartamú vízszint-monitoring alapján megállapítható, hogy a folyó áradási-apadási eseményei főként a part menti 200 méteres ártéri sávban éreztetik a felszín közeli vízádó hidraulikus potenciálszintjére gyakorolt hatásukat **(3. melléklet 44-52. és 55. ábrák)**. Ebben a zónában a talajvíz felszíntől mért mélysége az év jelentős részében 1-3 m közötti, és a Duna vízjárásától, továbbá a folyótól való távolság függvényében néhány óra, egy-két nap alatt megváltozhat.

A parttól 200-800 méterig tartó átmeneti zónában a folyó vízjárásának hatása fokozatosan lecseng. A felszín közeli hidraulikus potenciálszint itt már kiegyensúlyozott, de nagyobb áradások idején a vízszint egy-két hetes késéssel 0,5-1 m-t is változhat **(3. melléklet 53. ábra)**.

A távolabbi háttér vízjárása kiegyensúlyozott, már csak lassan bekövetkező dm-es nagyságrendű vízszint-változások jelentkezők **(3. melléklet 54. ábra)**.

A Váli-víz torkolat távlati vízbázis esetében leírtakhoz hasonlóan **(5.5.1.3 fejezet)**, ezen a vizsgált területen is jelentkezett a 2002. évi két nagy árvízi elöntés. Az ott részletezetteket összefoglalva, az árvizeknek a felszín közeli vízádó



---

hidraulikus potenciálszintjére gyakorolt hatása két-három hét alatt lecseng, és az éves felszín alatti vízforgalmat nem befolyásolja számottevően.

Megjegyzés a két mintaterületre elvégzett vízszint-idősor elemzésekhez.

A Duna és a partoldali figyelő objektumok vízszint értékei lineáris kapcsolatának kimutatására alkalmazni kívántam a vízszint adatok keresztkorrelációval történő elemzését. A folyó hidraulikai hatását egzaktul leíró matematikai statisztikai vizsgálat az alábbi okok miatt nem volt elvégezhető.

Mindkét mintaterületet tekintve, a próbatermelés időszakából – az üzemi és a nyugalmi fázisok váltakozása miatt – nem álltak rendelkezésemre a kiértékeléshez megfelelő hosszúságú adatsorokat. Ennek ellenére ezekből az időszakból előzetesen egy-egy viszonylag hosszabb nyugalmi periódust tartottam elemzésre alkalmasnak. Mindkét rövid időszakban a Duna egyúttal éppen áradt, ami kedvező a folyó háttér felé történő hidraulikai hatásának értékeléséhez. A vizsgálni kívánt időszakokra (Váli-víz mintaterület esetében (2002. január 28. – február 1.), Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterület esetében (2002. április 26. – május 1.)) végzett elemzési próbák azonban nem adtak értékelhető eredményeket egyik mintaterület esetében sem.

A próbaüzemet követő fél éves monitoring időszakából a Duna napi vízszint adatai mellett a figyelőobjektumokra csak egy hetes mérésközű adatok állnak rendelkezésemre. Ezek az ekvidisztáns mintavételű adatok azonban túl ritkák a Duna háttérben mérhető hidraulikai hatásának keresztkorrelációval történő vizsgálatához, mivel a folyó hatására a háttér felszín közeli vízáradójában lejátszódó folyamatok ennél rövidebb időszak alatt következnek be.

## **5.6 PARTI SZŰRÉSŰ FELSZÍN KÖZELI VÍZÁRAMLÁSI TÉR SEMATIKUS LEKÉPEZÉSE – MÓDSZERTANI PÉLDA A MINTATERÜLETEK ADATAI ALAPJÁN**

Tekintettel a dolgozat célkitűzéseire, az **5. fejezetben** ismertetett vizsgálati adatok alapján az alábbiakban, önálló módszerfejlesztés révén elvégeztem a tárgyalt Duna menti kutatási területek felszín alatti vízáramlási tereinek sematikus leképezését. A *sematikus*an leképezett (sematizált) parti szűrésű rendszer a továbbiakban bemenő adatokat szolgáltat a szűkebb értelemben vett PS kutatásokhoz és ezzel megadja azok keretét.



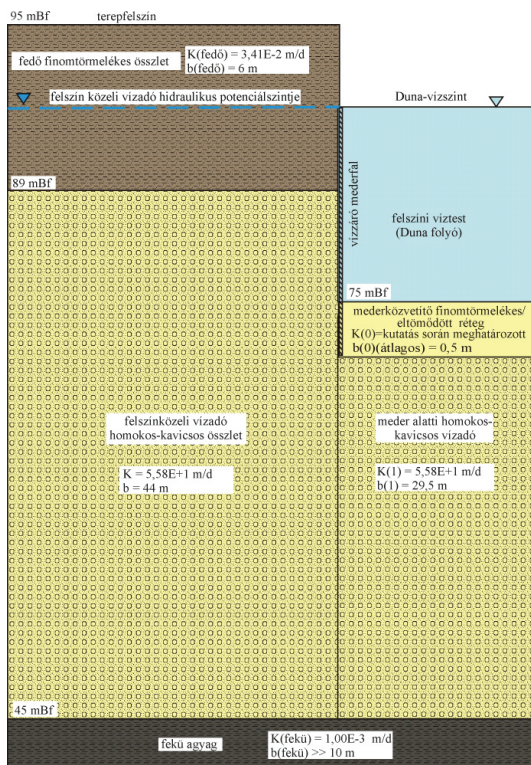
---

a **4.11 fejezetben** részletezettek alapján – egy átlagosan 0,5 m (0,1–1 m) vastagságú mederközvetítő rétegen keresztül áll kapcsolatban a felszíni víztesttel. A finomtörmelékes mederfenékréteg szivárgáshidraulikai paramétereinek meghatározása a kutatás részét képezi.

A vizsgált területeken és közeli háttérükben éves szinten a PS víztermelés szempontjából számottevő közvetlen csapadék eredetű természetes beszivárgásból származó felszín alatti vízutánpótlódás nem jelentkezik, mivel a beszivárgás és a felszín alól történő párolgás éves szinten dinamikus egyensúlyban áll egymással (lásd. **5.4 fejezet**). A háttérben a felszín közeli vízádban áramló víz egyrészt idős, jégkorszaki beszivárgású, kb. 10 000 éves víz (SMARAGD-GSH Kft. 2002a, 2002b). A Tóth (1963) által elvi felszín alatti vízgyűjtő medencére közölt felszín alatti vízáramkép nyomán ez az idős vízkomponens utal a Duna-völgy, mint központi folyóvölgy regionális felszín alatti vízáramlási rendszerek kapcsán betöltött tengely menti megcsapoló szerepére a regionális vízgyűjtő medencén belül, melyet Mádlné et al. (2005) a Duna-Tisza-közi felszín alatti regionális vízáramlási rendszer vizsgálatával igazolt.

A jégkorszaki vízkomponenshez jelenkorban beszivárgó vizek keverednek az alábbi forrásokból. Egyrészt a szűk part menti régióban alkalmanként a Dunából, természetes PS révén történhet alárendelt vízbélépés a felszín alatti rendszerbe. Másrészt további, jelentősebb forrást jelent a háttérben távolabb, kiemeltebb térszínen beszivárgó (Tóth 1986), és enyhe hajtóerő hatására laterális hozzászivárgás révén a part menti felszín alatti vízrendszer részévé váló csapadék eredetű víz.

A fent tárgyaltak alapján a PS víztermelés megindítása esetén, a vizsgált helyszínek vízkinyerési helyeinek szűk környezetében, azaz a víztermelő kutak távolhatási zónáiban a kutak egyrészt a folyó felőli vízádból és közvetlen részben az azt tápláló folyóból, másrészt a vízádo háttér felé eső részéből nyerik vizüket. Vastag vízádo esetén, annak mélyebb részeiből is történhet bizonyos fokú vízutánpótlás a deprimált hidraulikus potenciáeloszlásnak megfelelően. Az **5. fejezetben** ismertetett értékelés alapján a vízkinyerési helyszín környezetében, azaz a kút távolhatási területén a felülről, közvetlen csapadék eredetű beszivárgásból, valamint alulról, a vastag rossz vízvezető képességű (a PS vizsgálata szempontjából vízrekesztő) fekvő át a mélységi vízádo rendszerekből történő vízbélépés nagysága az oldalról történő tápláláshoz képest gyakorlatilag zérus.



**5.24 ábra** Duna menti felszín alatti vízáramlási tér sematikus felépítése, Fadd-Dombori-Bogyszló távlati vízbázis

A vizsgált felszín közeli vízádók hidraulikus potenciálfelzsinéinek terepfelszíntől mért mélysége az év jelentős részén 1-3 m közötti. Ez a horizont mindkét területen a fedő öszletek szintjében húzódik. A felszín közeli vízádók vízfelszínei a part közelben döntő mértékben a Duna-vízjárás hatása alatt állnak, de a transziens időszakokat követően viszonylag hamar, néhány nap alatt kialakul bennük a folyószinthez viszonyított hidraulikai egyensúlyi állapot. A területekre általánosan, kvázi permanens körülmények között jellemző éves átlagos vízfelszín tekintve a hidraulikus potenciálfelületek a háttér felől igen enyhén lejtjenek a Duna-felé, de a vizsgálatok szempontjából a közvetlen part menti régióban az egy-két nap alatt kiegyensúlyozottá váló vízszintek gyakorlatilag vízszintesnek, és a Duna vízszintjével azonosnak értékelhetők.

---

## 6. PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELÉS HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA DUNA MENTI MINTATERÜLETEKEN

A Jelölt által ismertetett előkészítő vizsgálati módszerek, a rendszerek sematizációja, valamint a a dolgozatban bemutatott egységes parti szűrésű (PS) kutatási megközelítés alapján, egy adott Duna-típusú víztermeléses PS rendszer meghatározó hidrológiai, hidrogeológiai és hidraulikai adatai megadhatók, melyekkel a vizsgált rendszer széleskörűen jellemezhető, kielégítő pontossággal leírható.

Az alábbiakban a **4. fejezetben** részletezett kutatási megközelítés alapján ismertetem a két feldolgozott mintaterület PS rendszerének vizsgálati eredményeit. A vizsgálatokhoz felhasznált mérési adatokat, a PS rendszer jellemző mért és számított értékeit, valamint a part menti régió mérési pontjaiban víztermelés hatására kialakuló vízszint-leszívások mért és számított értékeit **6. melléklet 1-17. táblázatok**, továbbá a **6. melléklet 18-23. táblázatok** foglalják össze, melyek folyamatos nyomonkövetése az értékelés könnyebb érthetősége érdekében ajánlott. Az adatok értékelése mellett, ahol indokolt a rövid elemzést végeznek egy-egy vizsgálati tárgyra, a különböző részmodszerekkel is meghatározott eredmények összevetésével.

A PS rendszerek sematikus leképezését ismertető **5. fejezet** tematikájától eltérően, ahol a rendszer kereteinek megadását célzó kutatás és az azzal együtt közölt eredmények, a *sematizált PS rendszer* megadására fókuszáló szerkesztéssel lettek bemutatva, jelen fejezetben a vizsgálati eredmények területenként elkülönülő egységes ismertetését követem az egyes helyszínek PS rendszereinek egészében történő átláthatósága érdekében.

A a dolgozatban ismertetett, permanens hidraulikai állapotra kidolgozott kutatási megközelítés miatt a mintaterületek adatainak értékelésekor a folyó áradási-apadási eseményei és a termelési hozamváltások nyomán fellépő tranziens időszakokat figyelmen kívül hagytam. Kiértékelésre a néhány napos, nagy és egyenletes hozamú termelési periódusok során, de leginkább azok végén, viszonylag nyugodt Duna-vízállás mellett mért adatokat tartottam legalkalmasabbnak, melyek nagy biztonsággal permanens PS hidraulikai állapotot tükröznek.

---

## 6.1 VÁLI-VÍZ TORKOLAT TÁVLATI VÍZBÁZIS

A rendszer leírására a 2002. február 6-10. és a 2002. február 17-26. időszakokban mért adatok voltak alkalmasak, bár a módszertanban ismertetett vizsgálatokat nem mindegyik nap adataival lehetett teljes körűen elvégezni. A számításokhoz felhasznált, terepen mért hidraulikai adatokat a **6. melléklet 1. táblázat** foglalja össze, míg a PS víztermelési rendszer egyéb mért és a kutatási eredményeket adó számított adatit a **6. melléklet 2. táblázatban** rendszereztem. A PS rendszerkomponensek **4.12 ábrán** összegzett, előkészítő vizsgálatokkal meghatározott adatait, valamint a PS víztermelési rendszert közvetlenül jellemző számított hidraulikai adatokat a **6.1 táblázatban** emelem ki. A part menti hidraulikus depresszió számítási eredményeit az egyes vizsgálati napokra külön-külön a **6. melléklet 3-17. táblázatokban** közlöm és a **6. melléklet 41-114. ábrákon** mutatom be.

Az első vizsgált periódusban, 2002. február 6-10. között a Duna vízszintje átlagosan 94,096 mBf volt, 93,907-94,367 mBf szélsőértékek között változott. Az időszak elején enyhén süllyedő, majd a második felében kvázi konstans vízszintértékkel számolhatunk. A VPT-1 termelőkút vízhozama ekkor 1492 L/p (2148 m<sup>3</sup>/d) volt. A második vizsgált időszak alatt a Duna vízszintje átlagosan 94,151 mBf volt, 93,877-94,347 mBf szélsőértékek mellett. Ennek az időszaknak az elején szintén néhány deciméteres folyó-vízszint csökkenés volt tapasztalható, majd 2002. február 20-22. között egy nyugodt periódus következett. 2002. február 22-23-án, 24 órán belül egy kisebb, közel 0,5 m-es vízszint-emelkedést okozó árhullám érkezett, de ezután 2002. február 26-ig kiegyenlített folyóvízszint volt tapasztalható. A második vizsgált időszak teljes időtartama alatt a termelőkút 1474 L/p (2124 m<sup>3</sup>/d) vízhozammal üzemelt.

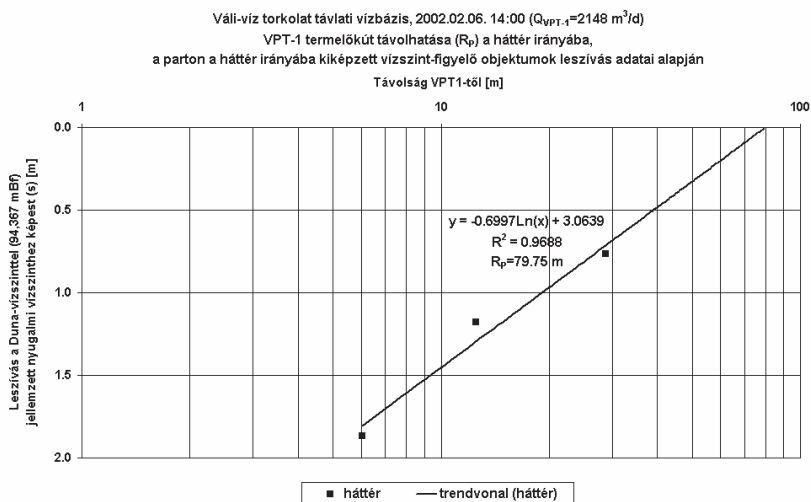
A vizsgált első öt nap alatt a Dunavíz hőmérséklete 1,4°C (5,1-6,5°C) mértékű ingás mellett 6,0°C átlagértékű volt, ami mellett a víz sűrűsége 1000 kg/m<sup>3</sup>, dinamikus viszkozitása 1,4731E-03 kg/ms volt.

2002. február 17-26. a vízhozam 18 L/p (24 m<sup>3</sup>/d) értékkel alacsonyabb volt az előzőhöz képest, ami ekkora kapacitású víztermelés mellett nem jelentős eltérés. A folyóvíz hőmérsékletre vonatkozó értékek a fentiek szerint rendre 1,5°C ingás mellett, 6,8-8,3°C és 7,3°C voltak. A víz sűrűsége ekkor is 1000 kg/m<sup>3</sup>, dinamikus viszkozitása kismértékű csökkenés mellett, 1,43E-03 kg/ms volt.

**6.1 táblázat** Parti szűrésű víztermelési rendszer mért és számított adatai, Váli-víz torkolat távlati vízbázis (a rendszert leíró adatok, végeredmények kiemelve szerepelnek)

### 6.1.1 Termelőkút távolthatása a háttér irányába

A VPT-1 termelőkút víztermelés hatására kialakuló, háttér felé irányuló távolthatást ( $R_p$  [m]) elemző diagramokat a **6. melléklet 1-15 ábrák** szemléltetik. A vizsgálati módszer követhetősége érdekében a **6. melléklet 1-15 ábrákon** közül, hasonló jellegű diagramok közül jelen helyütt a 2002. február 6-i 14:00 órás hidraulikai állapot kiértékelését (**6.1 ábra**) mutatom be, ami egy jellemző felvétel a rendszer állapotáról a vizsgált időszakban.



**6.1 ábra** Háttértávolthatás ( $R_p$  [m]) meghatározása Váli-víz torkolat mintaterületen, 2002. február 6. 14:00

A vizsgálat során a *kitüntetett szelvényben* a PS termelőkúttól a háttér irányába eső potenciométerek permanens hidraulikai állapotot tükröző vízszint adatait fél-logaritmikus koordináta-rendszerben (Dupuit 1863, Thiem 1906) ábrázoltam, majd az adatpontokra legjobb közelítéssel illesztett egyenes segítségével a nulla-értékű leszivási pontban ( $y=s=0 \text{ m}$ ) meghatározzuk a háttértávolthatás ( $x=R_p$  [m]) mértékét.  $R_p$  [m] pontos értéke az illesztett egyenes egyenlete alapján (6.1) szerint kiszámítható. A 2002. február 6-i hidraulikai állapotban (**6.1 ábra**)  $R_p$  [m] értéke 79,75 m volt.



$$y=0=-0,6997\ln(x)+3,0639 \text{ [m]} \quad (6.1),$$

$$s=0=-0,6997\ln(R_P)+3,0639 \text{ [m]}$$

$$R_P=\exp \frac{3,0639}{0,6997} \text{ [m]}$$

$$R_P=79,75 \text{ m}$$

Az összes vizsgálati eredményt tekintve (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**) megállapítható, hogy az első periódusban a háttér felé kialakult távolhatás ( $R_P$  [m]) nagysága átlagosan 75,76 m volt. A maximális érték (79,75 m) az időszak elején, míg a minimális (71,63) a vége előtt, a kissé alacsonyabb nyugalmi vízszint mellett volt számítható.

A hosszabb második időszakban a háttértávolhatás átlaga 82,31 m, minimuma 60,33 m, maximuma 105,40 m volt. A 100 m-t két érték haladta meg, 2002. február 17-én (101,75 m) és 2002. február 23-án (105,40 m), melyek kissé élelkebb Dunavízszint-süllyedés mellett voltak számíthatók. Ezeket nem tekintve a távolhatás viszonylag egyenletesen alakult és 78,29 m-es átlag mellett, 60,33-94,60 m közötti értékek jellemezték.

### **6.1.2 Termelőkút meder alatti hatékony távolhatása, hatékony partél helyzete, vízszint-leszívás mértéke a valós partélnél**

A meder alatti *hatékony*(=valós) *távolhatás* ( $R_H$  [m]) meghatározásának menete az  $R_P$  [m] számításánál (6.1) bemutatottakkal azonos, azzal a különbséggel, hogy itt a *kitüntetett szelvényben* a vízzel telített mederben kialakított mederszondák adatait értékeltem ki (**6. melléklet 16-30 ábrák**), (**6.2 ábra**).

A **6.2 ábrán** bemutatott 2002. február 6-i hidraulikai állapotot tekintve  $R_H$  [m] értéke a (6.2) számpélda alapján 33,75 m-nek adódott.

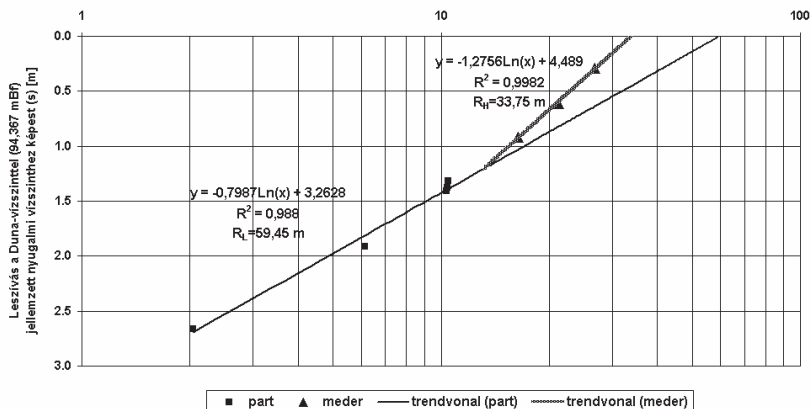
$$y=0=-1,2756\ln(x)+4,489 \text{ [m]} \quad (6.2),$$

$$s=0=-1,2756\ln(R_H)+4,489 \text{ [m]}$$

$$R_H=\exp \frac{4,489}{1,2756} \text{ [m]}$$

$$R_H=33,75 \text{ m}$$

Váli-víz torkolat távlati vízbázis, 2002.02.06. 14:00 ( $Q_{VPT-1}=2148 \text{ m}^3/\text{d}$ )  
VPT-1 termelőkút látszólagos ( $R_L$ ) és hatékony ( $R_H$ ) távolhatása a folyómeder alatt,  
a parton és a Dunamederben kiképzett vízszint-figyelő objektumok leszívás adatai alapján  
Távolság VPT-1-től [m]



**6.2 ábra** Meder alatti hatékony ( $R_H$  [m]) és látszólagos ( $R_L$  [m]) távolhatás meghatározása Váli-víz torkolat mintaterületen, 2002. február 6. 14:00

Az összes eredményt (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**) értékelve, a meder irányába kialakuló távolhatás ( $R_H$  [m]) nagysága hasonló volt a vizsgált napokban: 2002. február 6-10. között 33,75-38,12 m minimum-maximum és 35,81 m átlag-értékű, míg 2002. február 17-26. között 31,04-32,08 m szélső- és 31,78 m közép-értékű volt (**6. melléklet 16-30 ábrák**), (**6.2 ábra**). A 2002. február 17-19. napokhoz tartozó adatok alapján azonban a meder felé ható valós távolhatás nem volt értékelhető, mivel  $R_H$  [m] értéke a viszonylag élenken apadó folyó miatt az adatok alapján nem volt meghatározható (**6. melléklet 21-23 ábrák**).

A meder alatti *hatékony távolhatás* ( $R_H$  [m]) alapján a *hatékony partél*, az aktuális *valós partél* ( $x_0$  [m]) helyzetétől függően megadható (4.4) kifejezés ismételt közlése szerint,

$$\Delta L_H = x_0 \cdot R_H \quad (4.4),$$

ahol:  $\Delta L_H$ : *valós partél* meder irányú eltolásának mértéke a *hatékony partél* helyzetének megállapításához [m];  $R_H$ : parti szűrésű kút valós (hatékony) meder alatti távolhatása [m];  $x_0$ : parti szűrésű kút távolsága a *valós partéltől* [m].

A 2002. február 6-ra (4.4) alapján  $\Delta L_H$  [m] a következőképpen adható meg (6.3),  $x_0=21,96$  m helyszínen mért adat;  $R_H=33,75$  m, mederszonda-technika alapján számított adat ismeretében,  $\Delta L_H=?$ ,

$$\Delta L_H = 21,96 - 33,75 \text{ [m]} \quad (6.3).$$

$$\Delta L_H = -11,79 \text{ [m]}$$

A Váli-víz mintaterületen a *hatékony partél* helyzete – a fent bemutatott számítást az összes vizsgált napra elvégezve –  $\Delta L_H = -7,06$  m –  $-14,32$  m közötti, zömében  $-10$  m-t kissé meghaladó távolságú meder irányú *valós partél* eltolással ( $\Delta L_H$  [m]) volt kijelölhető. A partél eltolás átlaga  $\Delta L_H = -10,68$  m értéknek adódott.

A meder alatti hatékony távolhatást megadó egyenes egyenlete alapján (6. melléklet 16-30 ábrák), (6.2 ábra) a valós partélnél kialakuló mederalásvíz (s<sub>v</sub> [m]) szintén szűk értékintervallumban (0,332-0,785 m) mozgott, átlagértéke 0,522 m volt. A számítást a 2002. február 6-i mintanap adataival elvégezve a partélnél kialakuló valós vízszint-leszívás (s<sub>v</sub> [m]) az alábbiak szerint volt számítható (6.4),  $x = x_0 = 21,96$  m helyszínen mért adat,  $y = s_v$  [m] valós leszívás a valós partélen,  $s_v = ?$ ,

$$y = -1,2756 \ln x + 4,489 \text{ [m]} \quad (6.4).$$

$$y = -1,2756 \ln 21,96 + 4,489 = 0,548 \text{ [m]}$$

$$s_v = 0,548 \text{ m}$$

### 6.1.3 Aktív hatékony partélszakasz hossza

Az aktív hatékony partszakasz ( $2y_H$  [m]) hosszúsága az ismételten megadott (4.5) kifejezés szerint,

$$2y_H = 2 \sqrt{R_p^2 - R_H^2} \quad (\text{Jelölt által megadott kifejezés}) \quad (4.5),$$

ahol:  $2y_H$ : *aktív hatékony partélszakasz* hossza [m];  $R_p$ : parti szűrésű kút háttértávolhatása [m],  $R_H$ : parti szűrésű kút valós (hatékony) meder alatti távolhatása [m].

Az előző vizsgálatok bemutatásához felhasznált 2002. február 6-a adatai alapján  $2y_H$ , illetve az *aktív hatékony partélszakasz* fele ( $y_H$  [m]) a (6.5) számítási példa szerint adható meg,  $R_P=79,75$  m,  $R_H=33,75$  m (6.1 és 6.2 alapján),

$$2y_H = 2\sqrt{79,75^2 - 33,75^2} \text{ [m]} \quad (6.5),$$

$$2y_H = 144,51 \text{ m}$$

$$y_H = 72,26 \text{ m}$$

Az *aktív hatékony partszakasz* hosszúsága a 2002. februárjában vizsgált napokban 60 m-t nem meghaladó eltéréssel, 119,55-177,99 m szélsőértékek között mozgott (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**), átlaga 140,38 m volt. Az adatsorban egy, kissé kiugró érték szerepel (2002. február 23.: 201,03 m), melyet az adott napra a mérési adatok alapján meghatározott háttér felé irányuló távolhatás enyhén magas értéke (105,40 m) okoz. Egyébiránt a jó közelítéssel stabilnak tekinthető környezeti és víztermelési állapotokkal jellemezhető napok hasonló adatokkal jellemezhetők: 2002. február 6-7.: 143,24-144,51 m; 2002. február 8-10.: 124,47-130,17 m; 2002. február 20-22.: 119,55-136,51 m és 2002. február 24-26.: 159,90-177,99 m. Az eredmények nagyfokú egyezése egy sok adatra támaszkodó, többszörösen összetetten számított paraméter esetén a kapott értékek megbízhatóságát tükrözi.

#### **6.1.4 Vízkeveredési arányok a termelőkút vizében**

A folyó felőli öszzvízhozam ( $Q_{F+M}$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]), azaz a meder alatti vízádoból ( $Q_M$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) és közvetlenül – az *aktív mederfelületen* keresztül történő beszivárgással – a felszíni víztestből ( $Q_F$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) származó víz mennyisége az eddig mért, illetve számított adatok alapján meghatározható. Ezzel együtt ezeknek a teljes kitermelt vízmennyiséghez viszonyított arányai is értékelhetők. A kidolgozott számítási eljáráshoz Bochever et al. (1979) Jelölt által módosított, valamint Völgyesi (1993, 2008) pontosított részmódszerei, kifejezései kerülnek felhasználásra.

A vízhozamkomponenseket kifejező számítási példát a 2002. február 6-i adatok segítségével adom meg. Ezután az összes vizsgált napra vonatkozó eredményeket áttekintően is értékelem.

A folyó felőli összvízhozam ( $Q_{F+M}$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) Bochever et al. (1979) nyomán a Jelölt által pontosítva (6.6) átrendezésével a (6.7) kifejezéssel adható meg,  $Q=2148 \text{ m}^3/\text{d}$ .

$$Q^* = \frac{Q_{F+M}}{Q} \quad [-] \quad (\text{Bochever et al. 1979 nyomán pontosítva}) \quad (6.6),$$

$$Q_{F+M} = Q Q^* \text{ [m}^3/\text{d]}, \text{ illetve } [\%] \quad (\text{Bochever et al. 1979 nyomán pontosítva}) \quad (6.7).$$

Ehhez ismernünk kell  $Q^*$  [-] értékét, mely kifejezi  $Q_{F+M}$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ] teljes kitermelt vízhozamhoz ( $Q$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) viszonyított részarányát.  $Q^*$  értéke Bochever et al. (1979) és Völgyesi (2008) nyomán a Jelölt által került pontosan kifejezésre a megismételt (4.6) egyenlet szerint,

$$Q^* = th \frac{\text{arc sinh}(0,85 y^*) + \sqrt{0,085 y^*}}{2} \quad [-] \quad (\text{Bochever et al. 1979 és Völgyesi 2008 nyomán pontosítva}) \quad (4.6),$$

ahol:  $y^*$ : az *aktív hatékony partélszakasz* felének ( $y_H$  [m]) és a termelőkút hatékony partétől való távolságának ( $x_0$  [m]) hányadosa;  $Q^*$ : a folyó felől érkező vízhozam ( $Q_{F+M}$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) és az összes kitermelt vízhozam ( $Q$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) hányadosa (Völgyesi 2008 nyomán Jelölt által pontosan kifejezve) (lásd még: **4.6 ábra**).

A  $Q^*$  értékének (4.6) szerint történő számításához még egy ismeretlent,  $y^*$  értékét is meg kell adnunk, mely Bochever et al. (1979) nyomán a Jelölt által pontosítva, (6.8) szerint adható meg. A (6.8) számításhoz szükséges  $y_H$  [m] és  $R_H$  [m] értékei 72,26 m, illetve 33,75 m voltak 2002. február 6-án, a (6.5 és 6.2) példák alapján.

$$y^* = \frac{y_H}{R_H} \quad [-] \quad (\text{Bochever et al. 1979 nyomán pontosítva}) \quad (6.8),$$

$$y^* = \frac{72,26}{33,75} \quad [-]$$

$$y^* = 2,14 \quad [-]$$

Az  $y^*$  (6.8) szerint megadott értékét a (4.6) kifejezésbe behelyettesítve  $Q^*$  [-] értéke (6.9) alapján (2002. február 6-ra kiszámítható,

$$Q^*=th \frac{\text{arc sinh}(0,85 * 2,14) + \sqrt{0,085 * 2,14}}{2} [-] \quad (6.9).$$

$$Q^*=0,71 [-]$$

$Q^*$  értéke (6.6) szerint tehát a folyó felől származó összvízhozam ( $Q_{F+M}$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) kitermelt teljes vízhozamhoz ( $Q$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) viszonyított arányát fejezi ki, mely a vizsgált napra (6.7) alapján a (6.10) számpélda eredménye révén [%]-ban adható meg;  $Q=100\%$ ,  $Q^*=0,71$ ,

$$Q_{F+M} [\%] = Q [\%] Q^* [\%] \quad (6.10).$$

$$Q_{F+M} [\%] = 100 \cdot 0,71 [\%]$$

$$Q_{F+M} = 71 \%$$

A (6.9, 6.10) számítások eredményei azt jelentik, hogy 2002. február 6-án a parti szűréssel kitermelt víz 71 %-ban tartalmazott a folyó felől, azaz a folyóból és a meder alatti vízádból együttesen származó vízkomponenst. Ez az arány abszolút vízhozam értékben is kifejezhető a (6.11) szerint, ha a (6.9) számítás eredményét a (6.7) képletbe visszahelyettesítjük és helyszíni mérés alapján a teljes kitermelt vízhozamot ( $Q=2148 \text{ m}^3/\text{d}$ ) is megadjuk,

$$Q_{F+M} = 2148 * 0,713 [\text{m}^3/\text{d}] \quad (6.11),$$

$$Q_{F+M} = 1525 \text{ m}^3/\text{d}$$

Az összes vizsgált napot tekintve, abszolút értékben a folyó felőli napi hozam 1375-1720  $\text{m}^3/\text{d}$  között alakult, átlagosan 1520  $\text{m}^3/\text{d}$  volt (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**). Ezek az értékek a teljes kitermelt napi vízmennyiségekhez (2124  $\text{m}^3/\text{d}$  és 2148  $\text{m}^3/\text{d}$ ), adott napon mint 100 %-hoz viszonyítva legkevesebb 64 %, legtöbb 81 %, átlagosan 71 % folyóoldali vízárszesedést jelentettek. Ennél a vizsgálatnál is megmutatkozik az előző, **6.1.3 fejezetben** ismertetett, hidraulikailag egyenértékű napok adatainak nagyfokú hasonlósága, amelyek rendre 2002. február 6-7.: 70-71%; 2002. február 8-10.: 64-66 %; 2002. február 20-22.: 68-72 % és 2002. február 24-26.: 75-78 % ( $Q_{F+M}$  [%]) voltak. A külön csoportot képviselő 2002. február 23-i érték 81%-os részesedést mutat, ahol már a folyó kismértékű áradásából származó többletbeszivárgás hatása is jelentkezik, bár megjegyzendő, hogy ez az arány nem sokkal (3-6 %) múlja felül a rákövetkező három napra számított adatokat.

A mederkapcsolati hatásfok-számítás alapján a folyó felőli összvízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) félkvantitatív módon szétválasztható a felszíni víztestből ( $Q_F$  [m<sup>3</sup>/d]) és a meder alatti vízadóból ( $Q_M$  [m<sup>3</sup>/d]) származó vízkomponensekre a Völgyesi (1983) nyomán ismételtelen közölt (4.8) kifejezés szerint,

$$MH = \frac{s_L - s_V}{s_L} * 100 [\%] \quad (\text{Völgyesi 1993}) \quad (4.8),$$

ahol: MH: mederkapcsolati hatásfok [%];  $s_L$ : valós partél alatt a termelőkút tengelyében számítható, folyó típusú perem nélküli elméleti, *látszólagos* vízszint-leszívás [m] mértéke;  $s_V$ : *valós partél* alatt a kitüntetett szelvényben kialakuló *valós* vízszint-leszívás mértéke [m].

A mederkapcsolati hatásfok (MH [%]) (4.8) megadásához szükségünk van a *kitüntetett szelvényben* a *valós partél* alatti *valós* ( $s_V$  [m]) és *látszólagos* ( $s_L$  [m]) vízszint-leszívások pontos értékeire. Ezeket a kitüntetett szelvényben a vízzel telített mederben kialakított mederszondák és a partoldali potenciométerek alkalmazásával mért vízszint-leszívás értékek mérésével, és az adatok **6.1** és **6.2 ábrákon** bemutatott feldolgozásával határozom meg. Ismernünk kell még a *valós partél* PS termelőkúthoz viszonyított távolságát ( $x_0$  [m]) a kitüntetett szelvényben, mely helyszíni mérés alapján adható meg.

A *látszólagos leszívás* ( $s_L$  [m]) mértéke számítási példában 2002. február 6-ára, a **6.1 ábra** diagramján a háttér felé eső potenciométerek adataira illesztett egyenes egyenlete alapján fejezhető ki (6.12);  $x=x_0=21,96$  m,  $y=s_L=?$ ,

$$\begin{aligned} y &= -0,6997 \ln(x) + 3,0639 \text{ [m]} & (6.12), \\ s_L &= -0,6997 \ln(x_0) + 3,0639 \text{ [m]} \\ s_L &= -0,6997 \ln(21,96) + 3,0639 \text{ [m]} \\ s_L &= 0,902 \text{ m} \end{aligned}$$

A *valós leszívás* ( $s_V$  [m]) a **6.2 ábra** diagramján a mederszondák vízszint adatai által meghatározott egyenes egyenlete szerint (6.13) adható meg;  $x=x_0=21,96$  m,  $y=s_V=?$ ,

$$\begin{aligned}
y &= -1,2756 \ln(x) + 4,489 \text{ [m]} & (6.13), \\
s_V &= -1,2756 \ln(x_0) + 4,489 \text{ [m]} \\
s_V &= -1,2756 \ln(21,96) + 4,489 \text{ [m]} \\
s_V &= 0,548 \text{ m}
\end{aligned}$$

A vizsgált napra a bemutatott számítások (6.12, 6.13) alapján a folyóhatás nélküli *látszólagos leszívás* ( $s_L$  [m]) 0,902 m-nek, a folyó hatására kialakuló *valós leszívás* ( $s_V$  [m]) 0,548 m-nek adódott. Ezeket, a Jelölt által ismertettek szerint pontosa és egyszerűen kifejezhető eredményeket a (4.8) egyenletbe visszahelyettesítve a mederkapcsolati hatásfok (MH [%]) pontosan számítható a vizsgált napra (6.14),

$$\begin{aligned}
MH &= \frac{0,902 - 0,548}{0,902} * 100 \text{ [%]} & (6.14). \\
MH &= 39 \% \\
100 \% - MH &= 61 \%
\end{aligned}$$

Mint a (6.10) számításból láttuk, a folyó felől érkező összvízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) 71 %-a volt a teljes kitermelt vízhozamnak ( $Q$  [m<sup>3</sup>/d]) 2002. február 6-án. A (6.14) számítással kapott eredmény ennek tükrében azt jelenti, hogy a folyó felől érkező összvízhozamnak ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) 39 %-a származik közvetlen mederfenék-beszűrődés révén a felszíni víztestből ( $Q_F$  [m<sup>3</sup>/d]), a maradék 61 %-a pedig a meder alatti vízádból ( $Q_M$  [m<sup>3</sup>/d]).

A (6.10) számításból kapott százaléktérket figyelembe véve pedig, a (6.14) példa alapján megadott arányokat kifejezhetjük a teljes kitermelt vízhozamhoz ( $Q$  [m<sup>3</sup>/d]), mint 100 %-hoz viszonyítva (6.15) szerint; a vizsgált napon:  $Q_{F+M}=71 \%$ ,

$$\begin{aligned}
Q_F \text{ [%]} &= \frac{Q_{F+M} \text{ [%]}}{100} MH \text{ [%]} & (6.15). \\
Q_F &= \frac{71}{100} 39 = 28 \% \\
&\text{és} \\
Q_M \text{ [%]} &= Q_{F+M} \text{ [%]} - Q_F \text{ [%]} \\
Q_M &= 71 - 28 = 43 \%
\end{aligned}$$



A (6.15) szerint kifejezett értékek és a teljes kitermelt vízhozam ( $Q$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) ismeretében az egyes hozamkomponensek abszolút értékei is megadhatók (6.16); a vizsgált napon  $Q=2148 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $Q_F [\%]=28 \%$ ;  $Q_M [\%]=43 \%$ ;

$$Q_F [\text{m}^3/\text{d}] = \frac{Q_F [\%] \cdot Q [\text{m}^3/\text{d}]}{100} \quad (6.16).$$

$$Q_F [\text{m}^3/\text{d}] = \frac{28 \cdot 2148}{100} \quad [\text{m}^3/\text{d}]$$

$$Q_F = 601 \text{ m}^3/\text{d}$$

és

$$Q_M [\text{m}^3/\text{d}] = \frac{Q_M [\%] \cdot Q [\text{m}^3/\text{d}]}{100} \quad [\text{m}^3/\text{d}]$$

$$Q_M [\text{m}^3/\text{d}] = \frac{43 \cdot 2148}{100} \quad [\text{m}^3/\text{d}]$$

$$Q_M = 924 \text{ m}^3/\text{d}$$

A folyó felőli hozamkomponensek és a teljes kitermelt vízhozam ismeretében a vízkeveredési arányok a termelőktől vízében az ismét közölt (4.9) kifejezés alapján számíthatók ki,

$$Q = Q_F + Q_M + Q_P \quad [\text{m}^3/\text{d}], \text{ illetve } [\%] \quad (4.9).$$

ahol:  $Q$ : teljes kitermelt vízhozam [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];  $Q_P$ : partoldalról, a háttérből származó vízhozam-komponens [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];  $Q_F$ : közvetlenül a folyóból származó vízhozam-komponens [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];  $Q_M$ : meder alatti vízádból származó vízhozam-komponens [ $\text{m}^3/\text{d}$ ].

A 2002. február 6-i adatok alapján a (6.17) számítási példa szerint  $Q_P = ?$  [%], illetve [ $\text{m}^3/\text{d}$ ] is megadhatóvá válik, így a PS rendszer összes vízhozam-komponense kifejezhető;  $Q$ :  $2148 \text{ m}^3/\text{d}$  (100 %);  $Q_F$ :  $601 \text{ m}^3/\text{d}$  (28 %);  $Q_M$ :  $924 \text{ m}^3/\text{d}$  (43 %);

$$Q_P = Q - (Q_F + Q_M) \quad [\%], \text{ illetve } [\text{m}^3/\text{d}], \quad (6.17).$$

$$Q_P [\%] = 100 - (28 + 43) \quad [\%]$$

$$Q_P [\%] = 29 \%$$

illetve

$$Q_P [\text{m}^3/\text{d}] = 2148 - (601 + 924) \quad [\text{m}^3/\text{d}]$$

$$Q_P [\text{m}^3/\text{d}] = 623 \quad [\text{m}^3/\text{d}]$$

---

A számpéldát követően az összes mérési nap adatait tekintve (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**) az abszolút hozam-értékek megadása előtt,  $Q_F$ ,  $Q_M$  és  $Q_P$  komponensek teljes víztermeléshez ( $Q$ ) viszonyított arányait értékelem, melyekkel a rendszer működése szemléletesebben kifejezhető.

A közvetlenül a folyóvízből származó vízhozam ( $Q_F$  [%]) aránya első körben 12-38% közötti értékkel adható meg. Megfigyelhető azonban, hogy az eddig hidraulikai alapon egy csoportba sorolt napok (2002. február 6-7., 8-10., 20-22., 23., 24-26.) adatai között egy-egy ponton, pl.: 2002. február 6. ( $Q_F=28\%$ ), 10. ( $Q_F=24\%$ ), és 22. ( $Q_F=38\%$ ) kisebb eltérés tapasztalható az adott csoport többi adatához képest, amelyek: 2002. február 7. ( $Q_F=13\%$ ), 8-9. ( $Q_F=12-13\%$ ), és 20-21. ( $Q_F=29-30\%$ ) (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**). Ennek tisztázására ellenőrző mederkapcsolati hatásfok-számítást ( $EMH$  [%]) (**6. melléklet 2. táblázat**) végeztem a meder alatti *hatékony* (valós) ( $R_H$  [m]) és *látszólagos* ( $R_L$  [m]) *távolhatások* adatait felhasználva hasonlóan (4.8) kalkulációhoz.  $R_H$  [m] és  $R_L$  [m] adatokkal rendre a *valós parténél* jelentkező *valós* ( $s_v$  [m]) és a számítható *látszólagos leszívás* ( $s_L$  [m]) értékeket helyettesítettem. A megközelítés alapját az adja, hogy a meder alatti mért és látszólagos depressziós felületek egymáshoz viszonyított arányai a felszín alatti tér minden irányába elméletileg azonosak, ezért a kitüntetett szelvényben vizsgálva nemcsak egy adott  $x$  koordinátára, hanem egy adott  $z$  koordinátára is azonos, vagy legalábbis hasonló arányt kell, hogy számítsunk a két görbe összehasonlításakor.

A kapott  $EMH$  [%] eredmények (**6. melléklet 2. táblázat**) szerint a felsoroltak közül az első két nap (2002. február 6. és 10.) adatai jobban jellemzik a rendszer adott hidraulikai állapotát a saját csoportjukon belül. Ezeken a napokon a  $|MH-EMH|/MH$  [%] eltérési arány csupán 9-10 % volt, míg a többi napokon (2002. február 7-9.) ez az érték 56-113 % között alakult (**6. melléklet 2. táblázat**). A harmadik említett napon (2002. február 22.)  $MH=52\%$ ,  $EMH=41\%$  és ezek eltérésének aránya,  $|MH-EMH|/MH=22\%$  voltak. Ezek és csoport másik két napjára (2002. február 20-21.) vonatkozó adatok:  $MH=43-45\%$ ,  $EMH=37-35\%$  és  $|MH-EMH|/MH=15-22\%$  alapján a felszíni víztestből származó víz mennyiségét 2002. február 22-ére kis mértékben túlszámítottnak értékelem (**6. melléklet 2. táblázat**).

A fentiek alapján, a rendszert e vizsgálat tekintetben kevésbé jellemző napok (2002. február 7-9. és 22.) adatait kiszűrve, az adott időszakban közvetlenül a folyóból átlagosan  $Q_F=30\%$ -a (24-34%-a) érkezett a kitermelt vízmennyiségnek, míg

a meder alatti vízadóból átlagosan  $Q_M=43\%$ -a (38-47%-a). Azaz a folyó felőli vízutánpótlás átlagosan  $Q_{F+M}=73\%$ -os (64-81%) volt.

Abszolút értékben az átlagos  $Q_{F+M}=1450 \text{ m}^3/\text{d}$  folyó felőli napi vízhozammal számolva  $Q_F=558 \text{ m}^3/\text{d}$  folyóból és  $Q_M=809 \text{ m}^3/\text{d}$  meder alatti vízadóból származó vízmennyiséget jelent  $2148 \text{ m}^3/\text{d}$  víztermelési hozam mellett.

A fentiek alapján, a vizsgált időszak értékelhető intervallumaiban (2002. február 6-10. és 20-26.) a VPT-1 termelőkútból kitermelt víz egyes komponenseinek keveredési arányai és azok adott termelési hozamhoz rendelhető átlagos abszolút mennyisége a **6. melléklet 2. táblázat**, **6.1 táblázat** és kiemelve **6.2 táblázat** szerint foglalható össze. Ezekben a táblázatokban a folyó oldali és a teljes kitermelt vízhozam adatok ismeretében, a Jelölt által közölt (4.9) egyenlet alapján, (6.17) mintaszámításhoz hasonlóan  $Q_P$  értékei is kifejezésre kerültek

Hozamkomponens	Átlagos arány	Minimális arány	Maximális arány	Átlagérték	Átlagérték
	[%]	[%]	[%]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]
$Q_{F+M}$	73	64	81	1579	1450
$Q_F$	30	24	34	669	558
$Q_M$	43	38	47	910	809
$Q_P$	27	19	36	545	698
Q	100	nem értelmezhető		2124	2148

**6.2 táblázat** Vízekeveredési arányok a VPT-1 termelőkút vizében, 2002. február, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, átlagos folyóvíz-hőmérséklet: 7°C, átlagos folyó-vízszint: 94,19 mBf (ahol:  $Q_{F+M}$ : folyóoldal felől, a folyóból és a meder alatti vízadóból származó vízhozam-komponens;  $Q_F$ : folyóból származó vízhozam-komponens;  $Q_M$ : meder alatti vízadóból származó vízhozam-komponens;  $Q_P$ : háttér felől (part) származó vízhozam-komponens; Q: VPT-1 kút víztermelése)

### **6.1.5 Termelőkút meder alatti látszólagos távolhatása, látszólagos partél helyzete**

A part menti hidraulikus depressziószámításhoz szükséges *látszólagos partél* aktuális helyzete a termelőkút és a *valós partél* közötti száraz partoldalon, a kitüntetett szelvényben lévő vízszintészlelő objektumok aktuális napi adatai segítségével, a víztermelő kút meder alatti látszólagos távolhatása alapján került megállapításra. A meghatározás alapjául szolgáló értelmezett távolság-leszívás diagramok a **6. melléklet 16-30. ábrákon** és a **6.2 ábrán** kerülnek bemutatásra.

A meder alatti *látszólagos távolhatás* ( $R_L$  [m]) meghatározásának menete az  $R_P$  [m] (6.1) és  $R_P$  [m] (6.2) számításánál bemutatottakkal azonos, azzal a különbséggel, hogy ennél a vizsgálatnál csak a fejezet elején említett helyzetű potenciométerek adatait értékeltem ki (**6. melléklet 16-30 ábrák**), (**6.2 ábra**).

A **6.2 ábrán** bemutatott 2002. február 6-i hidraulikai állapotot tekintve  $R_L$  [m] értéke a (6.18) számpélda alapján 59,45 m-nek adódott.

$$y=0=0,7987\ln(x)+3,2628 \text{ [m]} \quad (6.18),$$

$$s=0=-0,7987\ln(R_L)+3,2628 \text{ [m]}$$

$$R_L=\exp \frac{3,2628}{0,7987} \text{ [m]}$$

$$R_L=59,45 \text{ m}$$

A *látszólagos meder alatti távolhatás* ( $R_L$  [m]) a VPT-1 termelőkúttól egy vizsgált nap adata (2002. február 19.: 34,75 m) kivételével 54,12 m átlagérték mellett 48,21-59,45 m között alakult 2002. februárjában, a feldolgozott két időszakban (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**). Az előzőekben megállapított, rövidebb időintervallumokhoz kapcsolható, hasonló hidraulikai értékekkel jellemezhető csoportok közül egyértelműen csak a 2002. február 6-7-i és a 2002. február 20-22-i jelenik meg szűk,  $R_L=59,19$ -59,45 m-es, illetve  $R_L=48,84$ -52,58 m-es értékközökkel. A két másik értékelhető részidőszak adatai nem ennyire szoros határok között mozognak, de a minimális-maximális értékek eltérése még ezzel együtt sem haladja meg a 10 m-es különbséget. A viszonylag nagyobb eltérést mind 2002. február 8-10., mind 2002. február 23-26. időszakok adatai között egy-egy kissé kiugró érték okozza (2002. február 8.:  $R_L=50,80$  m, ill. 2002. február 25.:  $R_L=48,21$  m). Ezekről eltekintve a már ismert csoportok ismét, ez alapján a vizsgálat alapján is értelmezhetővé váltak az alábbi szűk értékközök szerint: 2002. február 9-10.:  $R_L=57,79$ -58,96 m és 2002. február 23-24. és 26.:  $R_L=57,79$ -58,96 m (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**).

A *látszólagos partél-eltolás* ( $\Delta L_L$  [m]) nagysága a *látszólagos távolhatás* ( $R_L$  [m]) mellett a valódi partél helyzetétől is függ, mely az ismét közölt (4.10) kifejezés szerint,

$$\Delta L_L=x_0-R_L \quad (4.10).$$

---

ahol:  $\Delta L_L$ : *valós partél* meder irányú eltolásának mértéke a *látszólagos partél* helyzetének megállapításához [m];  $R_L$ : parti szűrésű kút *látszólagos* meder alatti távolsága [m];  $x_0$ : parti szűrésű kút távolsága a *valós partétől* [m].

A 2002. február 6-i mintanap adataival  $\Delta L_L$  [m] a (4.10) egyenlet szerint a következőképpen kerül kiszámításra (6.19);  $x_0=21,96$  m;  $R_L=59,45$  m,

$$\Delta L_L = 21,96 - 59,45 \text{ [m]} \quad (6.19).$$

$$\Delta L_L = -37,49 \text{ m}$$

A vizsgált napokat tekintve ez a távolság jellemzően  $\Delta L_L = -24,58$  -  $-37,49$  m értékközzel adható meg a vizsgált időszakokra vonatkozóan, egy darab kis mértékben eltérő érték (2002 február 19.:  $\Delta L_L = -12,24$  m) mellett (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**).

### **6.1.6 Parti szűrésű kút depressziós tere a part menti régióban**

PS víztermeléskor a part menti felszín közeli vízáadó hidraulikus potenciálterében depressziós zóna alakul ki, mely a termelő kút körüli depressziós felülettel jellemezhető. Ez a felület a folyó típusú határfeltétel miatt torzul a folyóhatás nélküli Thiem-féle depressziós felülethez képest. Egy adott valós, vagy kijelölt elméleti figyelőponton a víztermelés nyomán kialakuló hidraulikus potenciálérték a vízszint-leszívás ( $s$  [m]) nagysága és a nyugalmi vízszint abszolút értéke ismeretében megadható. Ezért a rendszer működésének mind jobb elméleti megközelítéshez szükség volt egy olyan, viszonylag egyszerű számítási módszer kidolgozására a meglévő ismeretek továbbfejlesztésével, amivel a kapott leszívás értékek a mért adatokat a lehető legjobban megközelítik, így az a továbbiakban tetszőleges helyzetű part menti pontokra alkalmazható.

A vizsgált terület 2002. február 6-10. és 17-26. közötti hidraulikai állapotainak számítását előkészítő adatok (**6. melléklet 1. táblázat**), és a dolgozatban tárgyalt módszerek alapján kapott eredmények a **6. melléklet 3-17. táblázatokban**, naponkénti bontásban kerültek összefoglalásra.

Az adott part menti figyelőpontokon a leszívási eredmények háromféle partélre (valós, hatékony és látszólagos), kétféle (Forchheimer-Dietz-féle (Forchheimer 1935,

Dietz 1943) és egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle (Bochever et al. 1978, 1979 nyomán Jelölt által egyszerűsített)) számítási módszerrel kerültek meghatározásra. Azaz, egy adott időben egy adott pontra hat darab eredményt számítottam ki, melyekkel a számítási módszerek összevethetővé váltak. 2002. február 17-19. között a *hatékony partél* helyzete nem volt meghatározható (lásd **6.1.2 fejezet**), (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**), ezért ezeken a napokon csak 4-4 db számított hidraulikai adat tartozik egy adott figyelőponthoz.

A következőkben 2002. február 6-i napra példákkal bemutatom a partoldali vízszint-leszívás számításának különböző lehetőségeit, egy a folyó felé eső (VF-1) potenciométerre. A bemutatandó napra eddig a következő, a partoldali vízszint-leszívás számítási módszereinek teszteléséhez szükséges adatok kerültek rögzítésre, illetve a hiányzó adatok, koordinátáik alapján (**1. melléklet 1. táblázat**) jelen helyütt kerültek kiszámításra:

- lokális koordinátatengelyek
  - x tengely: *kitüntetett szelvény* nyomvonala
  - y tengely: aktuális partéltípus (valós, hatékony, látszólagos)
- PS víztermelő kút (VPT-1) termelési hozama  $Q=2148 \text{ m}^3/\text{d}$ ;
- *valós partél* távolsága VPT-1-től (VPT-1 x-koordinátája)  $x_0=21,96 \text{ m}$ ;
- megjegyzés: *valós partéllel* számolva a *valós partél* eltolásának mértéke:  $\Delta L_V=0 \text{ m}$ ;
- *hatékony partél* távolsága VPT-1-től  $R_H=33,75 \text{ m}$ ;
- ekkor a *valós partél* hatékony eltolásának mértéke:  $\Delta L_H=-11,79 \text{ m}$ ;
- *látszólagos partél* távolsága VPT-1-től  $R_L=59,45 \text{ m}$ ;
- ekkor a *valós partél* látszólagos eltolásának mértéke:  $\Delta L_L=-37,49 \text{ m}$ ;
- VPT-1 x koordinátája valós rendszerben ( $x_0-\Delta L_V$ ),  $x_0=21,96 \text{ [m]}$
- VPT-1 x koordinátája a hatékony rendszerben ( $x_0-\Delta L_H$ ),  $x_0=33,75 \text{ [m]}$
- VPT-1 x koordinátája a látszólagos rendszerbe ( $x_0-\Delta L_L$ ),  $x_0=59,45 \text{ [m]}$
- VPT-1 y koordinátája,  $y_0=0 \text{ [m]}$ ;
- VF-1 x-irányú távolsága VPT-1-től:  $-10,41 \text{ m}$ ;
- VF-1 x-koordinátája a valós rendszerben ( $x_0+x\text{-irányú távolság}-\Delta L_V$ )  $x_{VF-1}: 11,55 \text{ [m]}$ ;
- VF-1 x-koordinátája a hatékony rendszerben ( $x_0+x\text{-irányú távolság}-\Delta L_H$ )  $x_{VF-1}: 23,34 \text{ [m]}$ ;

- VF-1 x-koordinátája a látszólagos rendszerben ( $x_0+x$ -irányú távolság- $\Delta L_L$ )  
 $x_{VF-1}$ : 49,04 [m];
- VF-1 y-koordinátája=y-irányú távolsága VPT-1-től (az összes rendszerben)  
 $y_{VF-1}$ : 1,16 [m];
- felszín közeli vízadó vastagsága  $b=8$  m;
- meder alatti vízadó szivárgási tényezője  $K_1=1,10E+2$  m/d ( $=K$ );
- meder alatti vízadó vastagsága  $b_1=4$  m;
- felszín közeli vízadó szivárgási tényezője  $K=1,10E+2$  m/d;
- mért vízszint-leszívás VF-1 figyelőkútban (a különböző számítási módszerek viszonyítási alapja)  $s_{VF-1}=1,32$  m;
- valós partélnél kialakuló vízszint-leszívás  $s_v=0,548$  m.

Először az ismételten közölt Forchheimer (1935) (4.12) (és a vele azonos Dietz (1943) (4.13)) összefüggését alkalmazom a vízszint-leszívás értékek kiszámítására,

$$s = \frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{\rho}{r} \quad (\text{Forchheimer 1935}) \quad (4.12),$$

ahol:  $s$ : maximális eredő leszívás nagysága egy tetszőleges, a PS termelőkút távolhatása alá eső part menti ponton [m];  $r$ : ugyanazon tetszőleges pont távolsága a termelőkúttól [m];  $\rho$ : a vizsgált pont folyót helyettesítő látszólagos kúttól való távolsága [m]; a képletben szereplő további tényezők az (4.11) képleteknél közöltekkel azonosak.

és Dietz egyenletével (1943) (4.13),

$$s = \frac{Q}{2\pi Kb} G(x,y) \quad (\text{Dietz 1943}) \quad (4.13),$$

ahol: a tényezők jelentését lásd az (4.11) és (4.12) képleteknél,  $G(x,y)$  pedig a (4.14) összefüggés szerint kifejezett.

Az aktuális  $\ln(\rho/r)$  értéket a Dietz-féle képletben (4.13) szereplő Green-függvénnyel (4.14) adom meg, Székely (1981) nyomán a mindenkor  $\Delta L$ -érték felhasználásával módosított  $x_0$  és  $x_1$  koordináták (6.20, 6.21) felhasználása mellett,

$$G(x,y) = \ln \sqrt{\frac{(x_1 + x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}} \quad (\text{Dietz 1943}) \quad (4.14),$$

ahol:  $G(x,y)$ : a Green-függvény; továbbá derékszögű síkkordináta-rendszerben:  
 $x_0$ : termelőkút x-koodrinátája;  $y_0$ : termelőkút y-koordinátája;  $x_1$ : figyelőkút  
 x-koodrinátája;  $y_1$ : figyelőkút y-koordinátája,

$$x \rightarrow x - \Delta L \quad \text{(Székely 1981 nyomán módosítva)} \quad (6.20),$$

ahol:  $\Delta L$ : partél folyó felé történő eltolásának mértéke [m] (a folyó irányába történő partél eltolás ( $\Delta L$  [m]) negatív értékű, ezért a távolságok összegzése miatt előtte negatív jel szerepel a kifejezésben);  $x$ : tetszőleges figyelőpont x-koordinátája (mely eredendően a valós partélhez ( $x=0$ ), mint y-tengelyhez viszonyítva került megadásra),

$$x_0 \rightarrow x_0 - \Delta L \quad \text{(Székely 1981 nyomán módosítva)} \quad (6.21),$$

ahol:  $\Delta L$ : partél folyó felé történő eltolásának mértéke [m] (a folyó irányába történő partél eltolás ( $\Delta L$  [m]) negatív értékű, ezért a távolságok összegzése miatt előtte negatív jel szerepel a kifejezésben);  $x_0$ : termelőkút x-koordinátája (mely eredendően a valós partélhez ( $x=0$ ), mint y-tengelyhez viszonyítva került megadásra).

$G(x,y)$  számítása (6.22) szerint,

$$\begin{aligned} & \text{Valós partéllal} & (6.22), \\ G(x,y) &= \ln \sqrt{\frac{(11,55 + 21,96)^2 + (1,16 - 0)^2}{(11,55 - 21,96)^2 + (1,16 - 0)^2}} \\ G(x,y)(\text{valós}) &= 1,164 \\ & \text{Hatékony partéllal} \\ G(x,y) &= \ln \sqrt{\frac{(23,34 + 33,75)^2 + (1,16 - 0)^2}{(23,34 - 33,75)^2 + (1,16 - 0)^2}} \\ G(x,y)(\text{hatékony}) &= 1,696 \\ & \text{Látszólagos partéllal} \\ G(x,y) &= \ln \sqrt{\frac{(49,04 + 59,45)^2 + (1,16 - 0)^2}{(49,04 - 59,45)^2 + (1,16 - 0)^2}} \\ G(x,y)(\text{hatékony}) &= 2,338 \end{aligned}$$



Ezek után Forchheimer (1935) és Dietz (1943) mederellenállást figyelmen kívül hagyó alaplómódszerével (4.12, illetve 4.14), de a (6.20) alapján az általam tesztelt partéltípusokat figyelembe véve, a VF-1 potenciométerre vonatkozó vízszint-leszívás kiszámítható (6.23),

$$\begin{aligned}
 &\text{Valós partéllal} && (6.23), \\
 s_{VF-I} &= \frac{2148}{2\pi 110 \cdot 8} 1,164 [m] \\
 s_{VF-I} &= 0,45 \text{ m} \\
 &\text{Hatékony partéllal} \\
 s_{VF-I} &= \frac{2148}{2\pi 110 \cdot 8} 1,696 [m] \\
 s_{VF-I} &= 0,66 \text{ m} \\
 &\text{Látszólagos partéllal} \\
 s_{VF-I} &= \frac{2148}{2\pi 110 \cdot 8} 2,338 [m] \\
 s_{VF-I} &= 0,91 \text{ m}
 \end{aligned}$$

A mederellenállás figyelembe vételéhez a fent közölt számítási variációkat Bochever-Lapsin képletével (Bochever et al. 1978, 1979) (4.16) is kiszámítom,

$$s_I = \frac{Q}{2\pi Kb} \left( \ln \frac{\rho}{r} + R_I \right) \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.16),$$

ahol:  $s_I$ : a víztermeléssel érintett partoldal adott pontjára vonatkozó maximális vízszint-leszívás [m];  $R_I = J_1 + J_2$  (-);  $J_1$  és  $J_2$  tagok a meder és a vízáadó összet kapcsolatában jelentkező többletellenállás mutatói, a többi kifejezés pedig az (4.12 és 4.13) egyenletnél közöltekkel azonos.

A (4.16) egyenletből  $R_I$  értékét a valós partélnél kialakuló leszívás ( $s_V$  [m]) alapján határozom meg (4.20) alapján, a számítást (6.22) példával bemutatva,

$$R_I = s_V \frac{2\pi Kb}{Q} \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979 nyomán } R_I \text{ Jelölt által kifejezve}) \quad (4.20),$$

ahol:  $R_1$ : mederellenállást magában foglaló faktor;  $s$ : *valós partél* kitüntetett szelvénnel alkotott metszéspontjában ( $x=0$ ;  $y=0$ ) mederszondákkal (szükség esetén part oldali potenciométerekkel) meghatározott vízszint-leszívás [m];  $s_v$ : vízszint-leszívás a *valós partélnél* [m];  $K$ : felszín közeli vízáadó szivárgási tényezője [m/d];  $b$ : felszín közeli vízáadó vastagsága [m];  $Q$ : parti szűrészű kút aktuális vízhozama [m<sup>3</sup>/d].

(6.24), ahol  $\ln p/r \rightarrow p'/r=1 \rightarrow \ln p'/r=0$  (4.2 és 4.10 ábrák)

$$R_1 = 0,548 \frac{2\pi 110 \cdot 8}{2148} [-] \quad (6.24).$$

$$R_1 = 1,41 [-] \text{ (a valós partélnél)}$$

Ennek segítségével az  $R_1$ -re vonatkozó, ismételte közölt (4.22) alapján  $x^-$  faktor [-] kifejezhető, ami *mederközvetítő* és meder alatti vízáadó *rétegekre* együttesen jellemző  $\alpha$ -mutatót [1/m] az ismételten közölt (4.21) szerint tartalmazza.

$$R_1 = -2e^{x^-} Ei(-x^-) \quad (\text{Bochever 1968}) \quad (4.22),$$

ahol:  $R_1$  a fent tárgyaltak,  $x^-$  pedig a (14) kifejezés alapján értelmezhető;  $-Ei(-x^-)$ : integrál exponenciális függvény (értékei a Theis-féle kútfüggvénnyel azonosak),

és

$$x^- = \alpha(x + x_0) \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.21),$$

ahol:  $\alpha$ : (4.18) kifejezésben szereplő, *mederközvetítő* és meder alatti vízáadó *rétegekre* együttesen jellemző mutató [1/m];  $x$ : vizsgált pont *valós partéltől* való távolsága [m] (a partélen:  $x=0$  m);  $x_0$ : termelőkút *valós partéltől* való távolsága [m],

melyből  $\alpha$ -mutató a (4.23) alapján kifejezhető,

$$\alpha = \frac{x^-}{x_0} \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979 nyomán kifejezve}) \quad (4.23),$$

ahol:  $\alpha$ : a 4.18, míg  $x^-$ : a 4.21 kifejezés szerint értelmezett;  $x_0$ : termelőkút – *valós partél* távolság [m].

A fentieket a (6.25) számpéldán mutatom be, megjegyezve, hogy  $x'$  faktor  $R_1$ -ből történő kifejezéséhez az **5. melléklet 2. és 3. táblázatait** használok fel a dolgozatban megadott módon,

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 1,41 [-] \text{ (a valós partélnél)} & (6.25), \\
 &\downarrow \\
 x' &= 0,036 [-] \text{ (4.22 alapján)} \\
 &\downarrow \\
 \alpha &= \frac{0,78}{21,96} [1/d] \text{ (4.23 alapján)} \\
 \alpha &= 0,036 1/d
 \end{aligned}$$

Az  $\alpha$ -mutató a rendszer adott hidraulikai állapotára jellemző állandó. Ezzel  $R_1$  konkrét értéke a (4.21) és a (4.22) egyenletek alapján bármely  $x$ -pontban kifejezhető a kitüntetett szelvényben. Bochever (1968) és Bochever et al. (1978) szerint a megoldás – elhanyagolható számítási hiba mellett – kiterjeszthető az  $y=\pm x_0$  pontokról kiinduló, a valós partéllal  $45^\circ$ -os szöget bezáró egyenesekkel lehatárolható part menti területrésze (4.2 és 4.10 ábrák), azaz gyakorlatilag a termelőkút távolhatási zónájára. A VF-1 figyelőpontra végzett számítás a (6.26) szerint adható meg, azzal a megjegyzéssel, hogy a partéltípusokat a (6.20, 6.21) transzformációkkal itt is figyelembe vettem,

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 0,036 1/d \text{ (rendszerállandó)} & (6.26). \\
 &\downarrow \\
 &\underline{\text{Valós partéllal számítva}} \\
 x'_{(VF-1)} &= 1,206 [-] \text{ (4.21 alapján)} \\
 R_{1(VF-1)} &= 1,06 [-] \text{ (4.22 alapján)} \\
 &\underline{\text{Hatékony partéllal számítva}} \\
 x'_{(VF-1)} &= 2,055 [-] \text{ (4.21 alapján)} \\
 R_{1(VF-1)} &= 0,67 [-] \text{ (4.22 alapján)} \\
 &\underline{\text{Látszólagos partéllal számítva}} \\
 x'_{(VF-1)} &= 3,906 [-] \text{ (4.21 alapján)} \\
 R_{1(VF-1)} &= 0,42 [-] \text{ (4.22 alapján)}
 \end{aligned}$$

A (6.23) és a (6.26) számpéldák eredményeivel a VF-1 figyelőkútban adódó vízszint-leszívás a mederellenállást is figyelembe véve számíthatóvá válik mindhárom partéltípus felhasználásával, (6.27) szerint,

$$\begin{aligned}
 & \text{Valós partéltel} & (6.27), \\
 s_{VF-1} &= \frac{2148}{2\pi 110 \cdot 8} (1,164 + 1,06) [m] \\
 s_{VF-1} &= 0,86 \text{ m} \\
 & \text{Hatékony partéltel} \\
 s_{VF-1} &= \frac{2148}{2\pi 110 \cdot 8} (1,696 + 0,67) [m] \\
 s_{VF-1} &= 0,92 \text{ m} \\
 & \text{Látszólagos partéltel} \\
 s_{VF-1} &= \frac{2148}{2\pi 110 \cdot 8} (2,338 + 0,42) [m] \\
 s_{VF-1} &= 1,07 \text{ m}
 \end{aligned}$$

A VF-1 figyelőkútra 2002. február 6-ra számított eredményeket (6.23, 6.27) és a kútban mért vízszintleszívást a **6.3 táblázatban** összegzem és értékelem.

		Partél típus		
		Valós	Hatékony (Jelölt által meghatározott)	Látszólagos (Jelölt által meghatározott)
$s_{VF-1}$ (Dietz) [m]		0.45	0.66	0.91
$s_{VF-1}$ (Bochever) [m] (Jelölt által egyszerűsített)		0.86	0.92	1.07
$s_{VF-1}$ (mért) [m]	1.32			
$s_{VF-1}$ eltérés (Forchheimer-Dietz) [m]		0.87	0.66	0.41
$s_{VF-1}$ eltérés (Bochever-Lapsin) [m]		0.46	0.40	0.25
$s_{VF-1}$ abszolút eltérés (Forchheimer-Dietz) [m]		0.87	0.66	0.41
$s_{VF-1}$ abszolút eltérés (Bochever-Lapsin) [m]		0.46	0.40	<b>0.25</b>
$s_{VF-1}$ minimális eltérés [m]	<b>0.25</b>			

**6.3 táblázat** VF-1 figyelőkút mért és hat féle módszerrel számított vízszint-adatai és azok értékelése

---

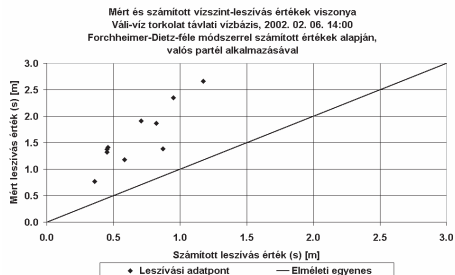
A **6.1 táblázatban** VF-1 figyelőkútra, 2002. február 6-i adatokkal számított vízszint-leszívás eredmények elemzése alapján megállapítható, hogy az  $s_{VF-1}=1,32$  m-es mért vízszint-leszívás legjobban a mederellenállást is figyelembe vevő, Jelölt által egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle módszerrel és a Jelölt által a partoldali depresszió-számításokhoz meghatározott látszólagos partél alkalmazásával közelíthető:  $s_{VF-1}=1,07$  m,  $s_{VF-1}=0,25$  m abszolút eltérés mellett. Ezzel szemben a széles körben alkalmazott, a valós partélt felhasználó és a mederellenállást figyelmen kívül hagyó Forchheimer-Dietz-féle (Forchheimer 1935, Dietz 1943) formula a legrosszabb közelítést adja:  $s_{VF-1}=0,45$  m,  $s_{VF-1}=0,87$  m abszolút eltérés mellett.

A kiragadott számpélda és eredményeinek elemzése után már csak a nagyszámban (840 darab) elvégzett számítás végeredményeit elemzem az összes vizsgált nap tekintetében. A számításokhoz felhasznált adatokat és azok eredményeit a **6. melléklet 3-17. táblázatokban** foglaltam össze. Az adatok jobb áttekinthetősége és a módszerek kalibrációja érdekében a **6. melléklet 31-114. ábrákon** az összes értékelhető potenciométer tekintetében szemléltetem a mért és számított vízszint-leszívások viszonyát, naponként összegezve a hatféle számítás eredményeit. Egy ilyen diagramsort mutatnak be a **6.3-6.8 ábrák** 2002. február 6-ára vonatkozóan.

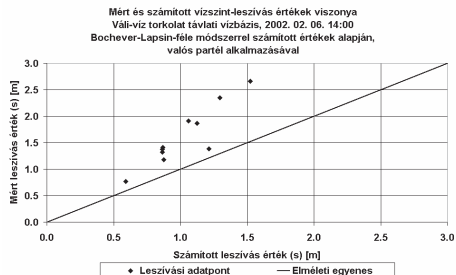
Az ábrák szerint az elméleti egyenest – ahol a mért és a számított értékek ideálisan egyenlők – minden alakommal az általam definiált *látszólagos partéllal*, és az általam egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle eljárással számított eredmények közelítik meg a legjobban, míg a közismert, és a *valós partéllal* használt Forchheimer-Dietz-féle módszerrel kapott eredmények a legkevésbé. Az eredmények alapján a hatékony partél e számításokhoz történő alkalmazása köztes megoldást jelent, és mint korábban bemutatásra került, ez a másodlagos partél-fajta inkább a mederoldali hidraulikai folyamatok jellemzésére használható.

A számítási eljárások további könnyebb értékelhetősége érdekében, figyelpontonként meghatároztam mindegyik számított leszívási értéknek a vonatkozó mért leszívástól való abszolút eltérését (**6. melléklet 3-17. táblázatok**). Ezek az adatokat a számítási módszer és az ahhoz felhasznált partél, azaz együttesen az alkalmazott vizsgálati eljárás figyelembe vételével időpontonként összegeezhetőek, majd átlagolhatóak voltak. Ezzel a művelettel kiszámítottam a mért és számított adatok átlagos abszolút eltéréseinek mértékét az egyes napok esetében, az összes vizsgálati eljárásra vonatkozóan (**6.4 táblázat**).

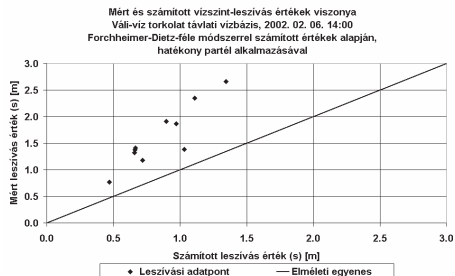
6.3 ábra



6.6 ábra



6.4 ábra



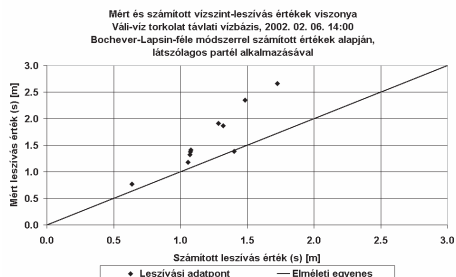
6.7 ábra



6.5 ábra



6.8 ábra



Dátum, idő		2002.02.06. 14:00			2002.02.07. 14:00			2002.02.08. 14:00			2002.02.09. 14:00			2002.02.10. 07:00		
Partél típusa		Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos
Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m]																
Módszer	Forchheimer-Dietz	0,940	0,770	0,550	0,797	0,626	0,440	0,836	0,658	0,477	0,678	0,527	0,371	0,654	0,487	0,358
	Bochever-Lapsin	0,595	0,538	0,413	0,398	0,359	0,293	0,439	0,374	0,302	0,365	0,325	0,255	0,461	0,369	0,285
Max-min eltérés		0,527			0,504			0,534			0,423			0,369		
Dátum, idő		2002.02.17. 12:00			2002.02.18. 13:00			2002.02.19. 13:00			2002.02.20. 13:00			2002.02.21. 13:00		
Partél típusa		Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos
Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m]																
Módszer	Forchheimer-Dietz	1,066	-	0,722	1,007	-	0,658	1,238	-	1,099	0,760	0,638	0,467	0,701	0,600	0,436
	Bochever-Lapsin	0,852	-	0,630	0,623	-	0,490	0,992	-	0,908	0,529	0,458	0,353	0,499	0,452	0,338
Max-min eltérés		0,436			0,517			0,330			0,407			0,363		
Dátum, idő		2002.02.22. 13:00			2002.02.23. 13:00			2002.02.24. 12:00			2002.02.25. 14:00			2002.02.26. 13:00		
Partél típusa		Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos	Valós	Hatékony	Látészólagos
Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m]																
Módszer	Forchheimer-Dietz	0,737	0,636	0,435	0,981	0,828	0,608	0,939	0,782	0,576	0,899	0,745	0,586	0,899	0,743	0,551
	Bochever-Lapsin	0,542	0,487	0,342	0,626	0,567	0,450	0,644	0,533	0,434	0,579	0,512	0,433	0,579	0,511	0,409
Max-min eltérés		0,395			0,531			0,489			0,466			0,490		

**6.4 táblázat** Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m], Váli-víz torkolat távlati vízbázis

A mért vízszint-leszívásokat a számítottakkal összehasonlítva minden esetben a Jelölt által bevezetett, **látészólagos partélel alkalmazott egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle módszer** eredményeinek átlagos abszolút eltérése volt a legalacsonyabb, a többi vizsgálati eljárás eredményeivel összevetve (**6.4 táblázat**). Egy adat kivételével az átlagos abszolút eltérések alacsonynak értékelhetők. Az alacsony minimális (0,195 m: 2002. február 8.) és az alacsony maximális érték (0,327 m: 2002. február 17.) közötti eltérés mindössze 0,132 m, ami jól mutatja a módszer megbízhatóságát. Az eljárás alkalmazásával nyert egyedüli kiugró érték (0,791 m: 2002. február 19.) abszolút eltérése sem jelentős, de csoportjában a többi adattól mindenképpen kissé elkülönül. Adott vizsgált napot tekintve a legrosszabb közelítés minden esetben a széleskörben elterjedt, **valós partélel alkalmazott Forchheimer-Dietz féle megoldással** volt számítható (**6.4 táblázat**). A két szélső megoldást adó módszer átlagos abszolút eltéréseinek különbsége **0,330-0,534 m** között alakult.

A **Forchheimer-Dietz formula látszólagos partél alkalmazásával** jelentősen (mintegy 0,5 m-rel) jobb eredményeket szolgáltat, mint **valós partélel**, melyek

---

megközelítik a *látszólagos partéllal* alkalmazott egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle módszer eredményeit.

Ha nem egy-egy nap összes objektumaira együttesen (**6.4 táblázat**), hanem az egyedi potenciometerekre külön-külön vonatkozó átlagos abszolút eltéréseket vizsgálva (**6. melléklet 3-17. táblázatok**), (**6. melléklet 31-114. ábrák**) megállapítható, hogy a Jelölt által bevezetett eljárással a számított vízszint-leszívás eredmények mért adatoktól való eltérése a néhány deciméteres-néhány centiméteres nagyságrenden belül mozog, sőt esetenként a mért és számított értékek teljesen megegyeznek egymással. A mért és számított adatok kissé nagyobb, 0,5-1,0 m közötti eltérései a termelőkút közvetlen 2-6 (0-6) m-es környezetében fordultak elő néhány esetben úgy, hogy a (VP-4 piezométer 2002. február 6-, 7-, 9- és 10-ei adatait kivéve) a mért vízszint-leszívási értékek mindig kissé felülmúlták a számítottakat. Ezt az eltérést véleményem szerint a termelőkút közvetlen környezetében a felszín alatti vízáramtér ideálishoz képest történő torzulása, illetve a felszín közeli vízáradó részleges leürülése okozza.

Az elemzési eredmények összességében igazolják, hogy a part menti vízszint-leszívásokra vonatkozó számításoknál a rendszer-sematizáló geometriai transzformációk mellett a mederellenállás hatását is figyelembe kell venni, melyre alkalmas a Jelölt által bevezetett, látszólagos partéllal alkalmazott egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle módszer. Viszonylag pontos vízszint-leszívás eredmények számíthatók a könnyebben alkalmazható Forchheimer-Dietz-féle formulával, a Jelölt által bevezetett *látszólagos partél* alkalmazása mellett. A többi bemutatott módszer véleményem szerint csak köztes megoldást jelenthet e probléma megoldására.

### **6.1.7 Mederközvetítő réteg hidraulikai paraméterei**

A mederfenéken elhelyezkedő *mederközvetítő réteg* (**4.1 és 4.2 ábrák**) vastagsági szélsőértékeit a hazai és a nemzetközi szakirodalmi adatok (Rákóczi 1997, Schubert 2003 és Rück 2007) alapján 0,1-1 m-ben állapítom meg a Duna-típusú folyók parti szűrésre alkalmas – tehát eredendően nem feliszapolódott – partszakaszai mentén.

A Duna kisvízállásakor megejtett makroszkópos megfigyeléseimen túl, külön pontszerű helyszíni vizsgálatot és azon alapuló számítás nem végeztem a *mederközvetítő réteg* vastagságának meghatározására, illetve hidraulikai tulajdonságainak mérésére. Rákóczi (1997) nyomán megemlítem, hogy a kolmatált



réteg „...közvetlen megfigyelése és zavartalan minták vételével történő vizsgálata nehézkes, sőt gyakran lehetetlen”. Véleményem szerint, ha a kutatás nem csak és kizárólag e réteg megismerésére fókuszál (melyhez speciális berendezések: medermintavevők, infiltrométerek, esetleg bűvárharang alkalmazása szükséges), hanem az a PS rendszer egészét érinti, akkor ezt a térben és időben változókéony réteget csak egységesen jellemző vastagsági szélsőértékeivel (0,1-1 m) (Rákóczi 1997, Schubert 2003 és Rück 2007), vagy 0,5 m-ben meghatározható átlagértékével lehet megfelelő módon felhasználni egy adott PS rendszer hidraulikai vizsgálata kapcsán.

Az orosz szakirodalomban Bochever és társai (1978, 1979) a *mederközvetítő réteget* a hidraulikai ellenállása reciprokával ( $1/c_0$  [1/d]) jellemzik a megismételt (4.27) szerint.

$$1/c_0 = K_0/b_0 = \alpha^2 K_1 b_1 \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.24),$$

ahol:  $K_0$ : *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : *mederközvetítő réteg* vastagsága [m];  $K_1$ : meder alatti vízáadó szivárgási tényezője [m/d];  $b_1$ : meder alatti vízáadó vastagsága [m],  $\alpha$ -tényező, pedig Bochever et al. (1978, 1979) (4.18) szerint megadott,

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_0}{K_1 b_1 b_0}} \quad (\text{Bochever et al. 1978, 1979}) \quad (4.18),$$

ahol:  $\alpha$ : *mederközvetítő* rétegre jellemző mutató [1/m];  $K_0$ : *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : *mederközvetítő réteg* vastagsága [m],  $K_1$ : meder alatti vízáadó szivárgási tényezője [m/d];  $b_1$ : meder alatti vízáadó vastagsága [m] **(4.2 ábra)**.

Mivel az  $\alpha$ -tényező a Jelölt által bemutatott módon, a (4.21), (4.22) és (4.23) egyenletek alapján, a (6.25) számpélda szerint kifejezhető, így értéke adott rendszerállapot mellett ismert. Ebből a *mederközvetítő réteg* hidraulikai ellenállásának reciproka ( $1/c_0$ ) a (4.24) egyenlettel, az alábbi (6.28) példa szerint számítható, melyet szintén 2002. február 6-ára mutatok be. ( $\alpha=0,036$  1/d; a meder alatti vízáadóra vonatkozó  $K_1=110$  m/d és  $b_1=4$  m paraméterértékek a kutatáselőkészítő vizsgálatok során kerültek rögzítésre).

$$\begin{aligned} 1/c_0 &= 0,036^2 \cdot 110_{\pm 4} [1/d] \\ 1/c_0 &= 0,57 \text{ } 1/d \end{aligned} \quad (6.28),$$

$1/c_0$  értékei a vizsgált két időszakot (2002. február 6-10. és február 17-26.) együttesen tekintve  $1,94\text{E}-01$ - $1,98\text{E}+00$   $1/d$  között mozogtak,  $8,27\text{E}-01$   $1/d$  átlagérték mellett (6. melléklet 2. táblázat), (6.1 táblázat).

Az angolszász szakirodalomban (Hantush 1956, Hantush 1960) a félig áteresztő rétegek hidraulikai leírására – mások mellett – a hidraulikai ellenállás ( $c_0$  [d]) kifejezését (4.25) használják, amely tehát reciprok kapcsolatban van az előző (4.24) kifejezéssel (a paraméterek jelentését lásd annál),

$$c_0 = b_0 / K_0 \quad (\text{Hantush 1956, 1960}) \quad (4.25).$$

A (4.24) meghatározással megadott  $1/c_0$  ismeretében a *mederközvetítő réteg* hidraulikai ellenállása ( $c_0$  [d]) a (6.29) számpéldával fejezhető ki 2002. február 6-ára,

$$\begin{aligned} c_0 &= 1/0,57 \text{ [d]} \\ c_0 &= 1,75 \text{ d} \end{aligned} \quad (6.29),$$

A Duna Váli-víz torkolat távlati vízbázis partszakasza előtt kialakult mederközvetítő réteg hidraulikai ellenállása ( $c_0$  [d]) 2002. februárjában  $5,06\text{E}-01$ - $5,15\text{E}+00$  d közötti értékekkel volt jellemezhető, átlagértéke  $1,80\text{E}+00$  d volt.

A (4.24) (Bochever et al 1978, 1979) és (4.25) (Hantush 1956, 1960) kifejezésekkel megadott  $1/c_0$ , illetve  $c_0$  alapján és a *mederközvetítő réteg* vastagságára a Jelölt által általánosan érvényesnek tekintett  $b_0=0,1$ -1 m-es (Rákóczi 1997, Schubert 2003 és Rück 2007) szélsőértékek, vagy  $b_0=0,5$  m-es átlagérték révén, a *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője ( $K_0$  [m/d]) szélsőértékekkel, vagy átlagértékkel (4.26) szerint kifejezhető,

$$K_0 = b_0 / c_0 \quad (\text{Hantush 1956, 1960 és Bochever et al. 1978, 1979 nyomán kifejezve}) \quad (4.26).$$

ahol:  $K_0$ : mederközvetítő réteg átlagos szivárgási tényezője [m/d];  $b_0$ : mederközvetítő réteg általánosan jellemző vastagsági szélsőértékei (0,1-1 m), illetve átlagos vastagsága (0,5 m) [m];  $c_0$ : *mederközvetítő réteg* hidraulikus ellenállása [d].

$K_0$  értékére a megoldást a 2002. február 6-i adatok alapján a (6.30) számítás szemlélteti,

$$\begin{aligned} &K_0 \text{ minimum} \\ &K_0=0,1/1,75 \text{ [m/d]} \\ &K_0=0,057 \text{ m/d} \\ &K_0 \text{ maximum} \\ &K_0=1/1,75 \text{ [m/d]} \\ &K_0=0,57 \text{ m/d} \\ &K_0 \text{ átlag} \\ &K_0=0,5/1,75 \text{ [m/d]} \\ &K_0=0,285 \text{ m/d} \end{aligned} \tag{6.30},$$

A fentiek alapján a vizsgált időszakra (2002. február 6-10. és 17-26.) a *mederközvetítő réteg* szivárgási tényezője ( $K_0$  [m/d]) –  $b_0$  [m] értékének fent megadott változtatásai mellett – szélsőértékeivel ( $K_{0,\min}$  és  $K_{0,\max}$ ), illetve átlagaival ( $K_{0,\text{átl}}$ ) volt jellemezhető. Ezek rendre:  $K_{0,\min}$ : 1,94E-02-1,98E-01 m/d,  $K_{0,\max}$ : 1,94E-01-1,98E+00 m/d és  $K_{0,\text{átl}}$ : 9,70E-02–9,88E-02 m/d voltak (**6. melléklet 2. táblázat**), (**6.1 táblázat**).

A *mederközvetítő rétegre* számított szivárgási tényező adatok egy-négy nagyságrenddel alulmúlják a felszín közeli durvatörmelékves vízadóra vonatkozó szivárgási tényező átlagértékét ( $K=1,10E+2$  m/d) és jellemzően agyagos-közetlisztes-finomhomokos üledékekre vonatkoznak.

### 6.1.8 Víztermelés hatására kialakuló aktív mederfelület kiterjedése

A felszíni vízből PS víztermelés hatására történő beszivárgást a mederfelszín bizonyos nagyságú felülete közvetíti a meder alatti vízadó felé. Az *aktív mederfelület* kiterjedését a *valós partél* folyóvízszint által befolyásolt helyzete és a meder alatti hatékony ( $R_H$  [m]), illetve a parton kialakuló távolhatás ( $R_P$  [m]) mértéke együttesen szabja meg. Ezért általában közel azonos víztermelési hozam ( $Q$  [m/d]) mellett magasabb folyóvízálláshoz kiterjedtebb *aktív mederfelület* ( $A$  [m<sup>2</sup>]) tartozik. Előfordulhat azonban, hogy alacsonyabb Duna-vízszint, azaz a meder irányába beljebb lévő *valós partél* mellett is nagyobb lehet az *aktív mederfelület*, ha emellett a *meder alatti hatékony távolhatás* ( $R_H$  [m]) mértéke is nagyobb.

Az aktív mederfelület kiterjedését meghatározó egyenletet Darcy (1856), Bochever et al. (1978, 1979) és Hantush (1956, 1960) nyomán a megismételt (4.28) szerint határozom meg,

$$A = - \frac{Q_F}{dh_A} c_0 \quad \begin{array}{l} \text{(Darcy 1856, Bochever et al. 1978, 1979} \\ \text{és Hantush 1956, 1960} \\ \text{nyomán kifejezve)} \end{array} \quad (4.28).$$

ahol: A: aktív mederfelület [ $m^2$ ];  $Q_F$ : folyóból (felszíni víztestből) származó vízhozam [ $m^3/d$ ];  $dh_A$ : meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbség [m] (**4.11 ábra**);  $c_0$ : mederközvetítő réteg hidraulikus ellenállása [d].

A (4.28) egyenlet megoldásához az előzőekben kiszámított  $Q_F$  [ $m^3/d$ ] és  $c_0$  [d] mellett a meder alatti átlagos hidraulikus potenciálkülönbséget ( $dh_A$  [m]) is ismernünk kell.  $dh_A$  [m] számításának elvét az előzőekben bemutatott **4.11 ábra** és a hozzá kapcsolódó leírás segítségével foglalom össze, és a 2002. február 6-i adatokkal az alábbiak szerint (6.31) adom meg. Bemenő adatok: meder alatti valós leszívási görbe (**4.2 ábra**) egyenlete (**6.2 ábra**):  $y = -1,2756 \ln(x) + 4,489$ ; határok:  $x = x_0 = 21,96$  [m] és  $x = R_H = 33,75$  [m]; valós partél meder irányú eltolása hatékony rendszer kialakításához:  $x_0 - R_H = \Delta L_H = -11,79$  [m] ( $dh_A$  oldalú téglalap másik oldala (**4.11 ábra**)).

$$T = \int_{33,75}^{21,96} -1,2756 \ln x + 4,489 = \quad (6.31),$$

$$\begin{aligned} & -1,2756 * ((33,75 * \ln(33,75) - 33,75) - (21,96 * \ln(21,96) - \\ & 21,96)) + (4,489 * 33,75 - 4,489 * 21,96) = \\ & -1,2756 * (85,0156 - 45,8793) + 52,9253 = \\ & -49,9222 + 52,9253 = \\ & T = 3,0031 \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

(T: a meder alatt, a valós leszívási görbe alatti (z-szerint fordított koordináta-rendszer miatt "feletti") terület nagysága a kitiűntetett szelvényben (**4.11 ábra**))

↓

$$T = T_A$$

↓

$$T_A = \Delta L_H * dh_A \text{ [m}^2\text{]}$$

$$dh_A = \frac{T_A}{\Delta L_H} \text{ [m]}$$

$$dh_A = \frac{3,0031}{-11,97} \text{ [m]}$$

$$dh_A = -0,255 \text{ m}$$

---

A (6.31) számpéldán bemutatottak szerint meghatározott  $dh_A$ -val az aktív mederfelület nagyságát ( $A$  [ $m^2$ ]), (4.28) alapján, a (6.32) számpélda szerint adom meg 2002. február 6-ára,

$$A = -\frac{601}{-0,255} \cdot 1,75 \text{ [m}^2\text{]} \quad (6.32).$$
$$A = 4125 \text{ m}^2$$

Az aktív mederfelület nagysága a vizsgálat idején 2002. februárjában  $A=2020-5347 \text{ m}^2$  között adódott,  $A=3452 \text{ m}^2$  átlagos kiterjedés mellett. Az adatsorban egy igen jelentősen kiugró érték ( $20519 \text{ m}^2$ : 2002. február 10.) szerepel, mely ugyan a többi eredményhez hasonló módon került kiszámításra, egy nagyságrenddel nagyobb a valójában várható területértéknél. Ennek okára az adatok többszöri ellenőrzésével sem tudtam választ adni.

Mint a fenti eredmények rámutatnak, a felület kiterjedése egy rendszeren belül is változik a környezeti állapotok és a PS víztermelés függvényében. Ezért az *aktív mederfelület* mindenkor kiterjedésének és alakjának jellemzése véleményem szerint a terület nagysága ( $A$  [ $m^2$ ]), az *aktív hatékony partélszakasz* hossza ( $2y_H$  [ $m$ ]) és a felület három jellemző pontja – az *aktív hatékony partélszakasz* végpontjai és a *kitüntetett szelvényben a meder alatti hatékony távolhatás* ( $R_H$  [ $m$ ]) pontja – segítségével kielégítően pontosan elvégezhető.

## 6.2 FADD-DOMBORI-BOGYISZLÓ TÁVLATI VÍZBÁZIS

A Váli-víz távlati vízbázis kutatási tapasztalatai alapján Fadd-Dombori-Bogyiszló kutatási területen a maximális víztermelési hozamú, kiegyenlített Duna-vízszintű időszakokat (2002. március 19-20. és április 14-15.) választottam ki a mért adatok kiértékelésére. Azonban meg kívánom jegyezni, hogy nem volt lehetőség a hidraulikai vizsgálatok teljes körű meder oldali elvégzésére, mivel a kiértékelés szempontjából alkalmas időszakokban a mederszondák partoldali potenciométerként funkcionáltak a Duna alacsony vízállása miatt. Bár a BMSZ-4 és BMSZ-5 szondák mindig a vízzel telített mederben voltak, ezek az objektumok sekély talpmélységük miatt csupán, mint Duna-vízszintmércek működtek, mivel a nagyon hirtelen mélyülő mederben ezeken a pontokon már nem volt lehetőség a vízadót megfelelő mélységben feltáró objektumok kialakítására.

---

A Duna vízhőmérséklete a vizsgált négy napban átlagosan 11°C volt, 10,2-11,9°C szélsőértékek mellett. Az átlagos vízhőmérsékletet tekintve a víz sűrűsége 999,7 kg/m<sup>3</sup>, míg dinamikus viszkozitása 1,27E-03 kg/ms volt.

A kiértékelés szempontjából alkalmasnak tűnő 2002. május 3-6. közötti időszakban a part menti kúthármas mellett csak a vízben álló BMSZ-3 szonda szolgáltatott megbízható meder felőli hidraulikai adatokat, melyet így sem potenciométer-adatként, és egyedülként mederszonda-adatként sem lehetett figyelembe venni, tehát az időszak értékelhetetlenné vált.

Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis kísérleti telepén a vastag felszín közeli vízáradó a felső felében kialakított nem teljes harántolású termelőkúttal (BP-I) került megcsapolásra, ami a vízáramkép torzulását eredményezte a kút ( $r < b$ ) környezetében az ideálisan teljes vastagságban termelt vízáradó áramképéhez képest.

Ha a szivattyúzott kút szűrője a vastag vízáradó felső felében helyezkedik el, akkor a vízáradó felső részében kialakított potenciométerekben a víztermelés hatására mérhető leszívás túl nagy, míg az alsó részében kialakítottak esetén túl kicsi lesz az ugyanakkora víztermeléssel megcsapolt teljes harántolású vízáradóhoz képest. A vízáradó alsó felét termelő kút esetén pedig az előzőekhez képest fordított hatás érvényesül (Kruseman és De Ridder 1983). Ezért a termelőkút háttér felé kiterjedő távolhatásának és a mederoldal felé ható látszólagos távolhatásának meghatározásakor Jacob-féle módszerrel (Jacob 1963) korrigált leszívás adatokat használtam fel a jelenség kiküszöbölésére. A korrigált leszívás adatokat a mért adatokkal párhuzamosan a leszívás-számításoknál is figyelembe vettem, így mód nyílt a kétféle adatsoron nyugvó számítások összehasonlítására és a módszerek egymáshoz viszonyított értékelésére.

A Jacob-féle korrekció – a többi hasonló jellegű módszerhez képest – a termelőkút közvetlen környezetére is kielégítő pontossággal és viszonylag egyszerűen alkalmazható (Kruseman és De Ridder 1983). A Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis és kísérleti telepe adottságainak megfelelően, a vízáradó felső felét termelő kút és a vízáradó felső felét vizsgáló potenciométerek esetén a Jacob-féle korrekció (Jacob 1963) (6.33) kifejezés szerint adható meg:

$$s_K = s - \delta \frac{Q}{2\pi K b} \quad (\text{Jacob 1963}) \quad (6.33),$$

ahol:  $s_K$ : korrigált leszívás [m];  $\delta$ : Jacob-féle leszívás-korrektíós faktor;  
 $Q$ : víztermelési hozam [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];  $K$ : felszín közeli vízadó szivárgási tényezője [ $\text{m}/\text{d}$ ];  
 $b$ : felszín közeli vízadó vastagsága [m].

A Jacob-féle leszívás-korrektíós faktor ( $\delta$ ) értéke Jacob (1963) által közölt nomogramokról, a  $\pi r/b$  hányados és a víztermelő kút szűrőhosszát ( $l_{sz}$ ), valamint a vízadó vastagságát ( $b$ ) magába foglaló  $P=l_{sz}/b$  behatolási arányossági tényező függvényében meghatározható.

A mért leszívás értékek korrekciójához felhasznált adatok értékeit a **6.5 táblázatban** foglalja össze. Az adatok mind a négy, azonos víztermelési kapacitással ( $4320 \text{ m}^3/\text{d}$ ) vizsgált napra egységesen kerültek alkalmazásra.

Figyelőobjektum	$\pi r/b$	$P$	$\delta$	$Q/(2\pi Kb)$	$\delta \cdot [Q/(2\pi Kb)]$ (korrekció)
	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]
BP-1	0,40	0,114	2	0,28	0,56
BP-2	0,34	0,114	2,05	0,28	0,57
BP-3	0,36	0,114	2,05	0,28	0,57
BP-4	0,37	0,114	2,05	0,28	0,57
BF-1	0,36	0,114	2,05	0,28	0,57
BF-2	0,35	0,114	2,05	0,28	0,57
BF-3	0,37	0,114	2,05	0,28	0,57
BF-5	2,09	0,114	0,25	0,28	0,07
PI-4	2,06	0,114	0,25	0,28	0,07
BMSZ-2	0,83	0,114	1,10	0,28	0,31
BMSZ-3	0,91	0,114	1,05	0,28	0,29

**6.5 táblázat** A mért leszívás-értékek korrekciójához felhasznált adatok és a korrekció mértéke figyelőobjektumonként, azonos termelési állapot mellett; Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis (Jelölt által szerkesztett táblázat); ahol:  $r$ : figyelőobjektum távolsága a termelőkúttól (aktuális értékeit lásd a 6. melléklet 18. táblázatban); a többi tényező a (24) kifejezés szerint meghatározott

A hidraulikai számításokhoz felhasznált további adatokat a **6. melléklet 18. táblázat**, míg a számítások eredményeit **6.6 táblázat**, valamint a **6. melléklet 19. és 20-27. táblázatok** foglalják össze.

Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületre az adatfeldolgozást a bemutatott egységes kutatási megközelítés alkalmazható elemei szerint, a Váli-víz mintaterület esetén részletezett számpéldákhoz hasonlóan végeztem el, ezért ebben a fejezetben kizárólag az eredmények ismertetésére és értékelésére törekszem.



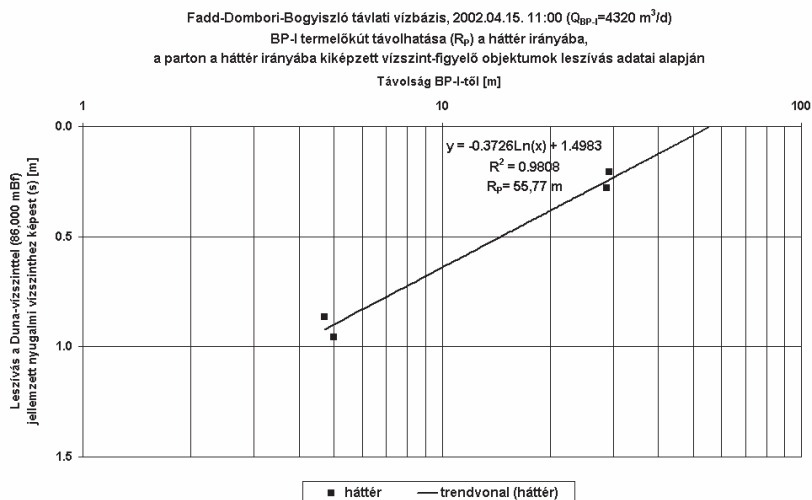
Dátum (év.hó.nap.)	2002.03.19	2002.03.20	2002.04.14	2002.04.15
Időpont [h:min]	12:00	12:00	11:00	11:00
Duna vízszint [mBf]	85.635	85.690	86.100	86.000
Duna vízhőmérséklet [°C]	11.9	10.2	10.9	11.0
Q [L/s]	3000	3000	3000	3000
BP-I termelőkút vízhozama	4320	4320	4320	4320
BP-I termelőkút vízhozama	55.8	55.8	55.8	55.8
Q [m³/d]	44	44	44	44
K [m/d]	55.8	55.8	55.8	55.8
felszín közeli vízáadó vastagsága	29.5	29.5	29.5	29.5
b [m]	250	250	250	250
K <sub>0</sub> [m]	14.80	14.53	13.23	13.40
termelőkút-velős parti távolság	68.73	74.84	44.35	56.77
R <sub>0</sub> [m]	64.27	50.19	35.71	51.97
termelőkút távolhatása a parton a háttér írányába, a Duna vízszintje által meghatározott nyugalmi vízszinthez viszonyítva	-49.47	-35.66	-22.48	-38.57
R <sub>1</sub> [m]	0.692	0.633	0.503	0.620
termelőkút távolhatása a folyómeder alatti-látszólagos parti távolsága a termelőkúttól	0.404	0.353	0.195	0.318
ΔL <sub>1</sub> [m]	0.609	0.615	0.466	0.531
s <sub>1</sub> [m]	34	43	58	40
valós leszívás a valós partélen, az x=0, y=0 pontban, a Duna vízszintje által meghatározott nyugalmi vízszinthez viszonyítva	2.47	2.26	1.80	2.21
s <sub>0</sub> [m]	1.24	1.13	0.90	1.11
korrigált leszívás a valós partélen: vízádót teljes vastagságában harántoló és szűrőző termelőkút esetén kialakuló leszívás a valós partélen, Jacob-féle módszer alapján	0.75	0.92	2.10	1.10
s <sub>0</sub> [m]	0.051	0.063	0.159	0.082
látszólagos (Dupuit-Thiem-féle módszerrel számított) leszívás a valós partélen, az x=0, y=0 pontban, a Duna vízszintje által meghatározott nyugalmi vízszinthez viszonyítva	12.67	15.83	39.68	20.52
MH [%]	4.23E+00	6.60E+00	4.15E+01	1.11E+01
R <sub>1</sub> [J]	2.37E-01	1.52E-01	2.41E-02	9.02E-02
J [J]	0.1	0.1	0.1	0.1
Bochever-féle R <sub>1</sub> faktor	1	1	1	1
Bochever-féle J faktor	4.23E-01	6.60E-01	4.15E+00	1.11E+00
x [-]	4.23E+00	6.60E+00	4.15E+01	1.11E+01
(K <sub>0</sub> K <sub>1</sub> b <sub>0</sub> b <sub>1</sub> ) <sup>-1/2</sup>	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
a [1/m]				
a [m]				
mederközvetítő réteg függőleges hidraulikai ellenállásának reciproka (cross szakiradionban elterjedt kifejezés)				
1/c <sub>0</sub> [1/d]				
c <sub>0</sub> [d]				
mederközvetítő réteg függőleges hidraulikai ellenállása (angolszász szakirodalomban elterjedt kifejezés)				
b <sub>0,med</sub> [m]				
mederközvetítő réteg minimális vastagsága				
b <sub>0,max</sub> [m]				
mederközvetítő réteg maximális vastagsága				
K <sub>0,med</sub> [m/d]				
mederközvetítő minimális szivárgási tényezője				
K <sub>0,max</sub> [m/d]				
mederközvetítő maximális szivárgási tényezője				
K <sub>0,at</sub> [m/d]				
mederközvetítő átlagos szivárgási tényezője				

6.6 táblázat Parti szűrési víztermelési rendszer mért és számított adatai, Fadd-Dombor-Bogysízó látviati vízbázis (a rendszer leíró adatai, végeredmények kiemelve szerepelnek)



## 6.2.1 Termelőkút távolthatása a háttér irányába

A vizsgált napokra a BP-I kút víztermelés hatására a háttér felé kialakuló távolthatását ( $R_P$  [m]) (6.6 táblázat) a 6.9 ábrán és a 6. melléklet 113-117 ábrákon közölt diagramok szemléltetik.



**6.9 ábra** Háttértávolthatás ( $R_P$  [m]) meghatározása Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületen, 2002. április 15. 11:00

$R_P$  nagysága 44,35-74,84 m között alakult a két vizsgált időszakban. Megfigyelhető, hogy ugyanakkora víztermelési kapacitás ( $4320 \text{ m}^3/\text{d}$ ) mellett a háttértávolthatás értéke 2002. március 19-20-án (68,73-74,84 m), mintegy 0,4-0,5 m-rel alacsonyabb Duna-vízállás mellett 12,96-30,49 m-rel nagyobb volt a 2002. április 14-15-i adatokhoz (44,35-55,77 m) képest, ami jól tükrözi a folyóvízállás PS rendszere gyakorolt hatását. (A Duna-vízállás értékei 2002. március 19-20-án 85,635-85,590 mBf, 2002. április 14-15-én 86-100-86,00 mBf voltak).

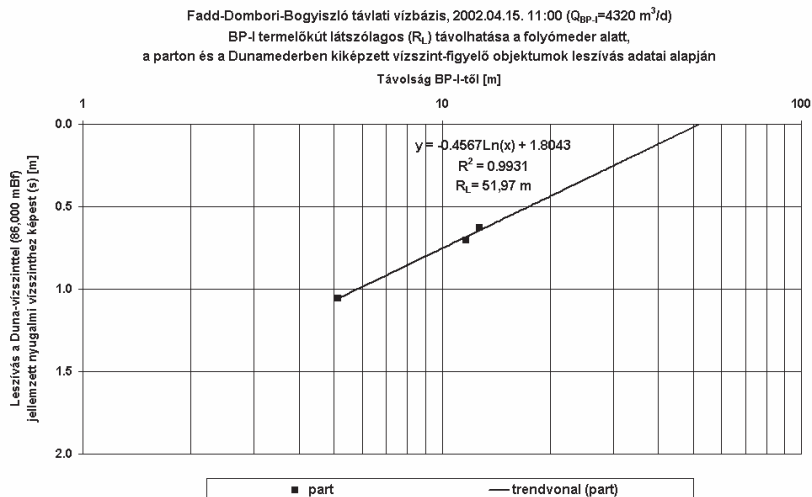
Azaz ugyanakkora víztermelési hozam eléréséhez alacsonyabb folyóvízállás idején nagyobb vízszint-leszívás szükséges, ezért a PS termelőkút háttértávolthatása kiterjed.

## 6.2.2 Termelőkút meder alatti látszólagos távolhatása, látszólagos partél helyzete

A meder felé kialakuló látszólagos távolhatás ( $R_L$  [m]) (6.10 ábra és 6. melléklet 118-121. ábrák) két-két vizsgált napra vonatkozó adataiban szintén megfigyelhető a háttér-távolhatásnál már ismertetett folyó-hatás, bár itt az adatok között kismértékű átfedés tapasztalható. Megjegyzendő, hogy a 2002. március 19-20-i mérések (6. melléklet 118-119. ábrák) adathiányosak, és az elemzések csak közelítő számításként értékelhetők. A folyó oldali elemzéseket a fenti két napra, a 2002. április 14-15-i adatok alapján a vízadó felső szintjét hidraulikailag megbízhatóan jellemző, az adott környezeti és víztermelési állapotok mellett mérhető BF-2 figyelőkút és BMSZ-2 potenciométerként működő szonda adataival végeztem el, kiküszöbölve ezzel a feldolgozásra alkalmas hidraulikai állapotok "elvesztését". A 2002. áprilisi elemzés a folyó felőli oldalon már három adattal volt elvégezhető.

A vizsgálat alapján számított minimális  $R_L$  érték 35,71 m, a maximális  $R_L$  érték 64,27 m-nek adódott (6.6 táblázat).

A távolhatás-számítások alapján a valós partélt az aktuális napi mérték szerint,  $\Delta L = -22,48 - -49,47$  m (6.6 táblázat) között adódó értékkel szükséges eltolni a meder irányába a látszólagos transzformált rendszer kialakítása érdekében.



6.10 ábra Meder alatti látszólagos ( $R_L$  [m]) távolhatás meghatározása Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületen, 2002. április 15. 11:00

---

### 6.2.3 Parti szűrésű kút depressziós tere a part menti régióban

Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázison megbízhatóan működő, elégséges számú, hidraulikailag aktív mederszonda hiányában nem volt lehetőségem a hatékony partélel transzformált rendszer elemzésére, de az adatok valós és látszólagos rendszerben történő értékelése elvégezhető volt. Ezek mellett a PS termelőkúttal nem teljes vastagságában harántolt vízáadó miatt – a fentebb részletesen ismertetettek szerint – elvégeztem a vízszint-leszívás értékek korrekciója is. Így mód nyílt a számított adatok mért és korrigált vízszintekhez történő viszonyítására, kétféle vonatkoztatási rendszerben (valós, illetve látszólagos partél) és kétféle vizsgálati módszerrel (Forchheimer-Dietz, illetve egyszerűsített Bochever-Lapsin). Ez a komplex elemzés alapot nyújtott az ilyen jellegű PS rendszer jellemzésére legpontosabb eredményeket szolgáltató kutatási módszer kiválasztására.

A víztermelő kút környezetében a felszín közeli vízáadó part menti régiójában számított hidraulikus depresszió mértékét a vizsgált napok és a különböző vizsgálati módszerek szerinti bontásban a **6.7 és 6.8 táblázatok**, részletebben a **6. melléklet 20-23. és 24-27. táblázatok** összegzik, valamint a **6.11-6.18 ábrákon**, illetve a **6. melléklet 122-137. és 138-153. ábrákon** közölt grafikonok szemléltetik.

A **6.7 és 6.8 táblázatok** naponként összegzik a terepen mért, illetve a Jacob-féle módszerrel (Jacob 1963) korrigált vízszintekhez viszonyított számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltéréseit, egy-egy napra az összes vizsgált objektum eltéréseinek átlaga szerint.

A mért, illetve a korrigált vízszint-leszívásokat a számítottakkal összehasonlítva minden esetben a Jelölt által bevezetett, **látszólagos partélel alkalmazott egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle módszer** eredményeinek átlagos abszolút eltérése volt a legalacsonyabb, a Forchheimer-Dietz féle vizsgálati eljárás eredményeivel összevetve (**6.7 és 6.8 táblázatok**). Terepen mért vízszint-adatokhoz történő viszonyítás esetén (**6.7 táblázat**) ez az érték **0,452-0,508 m** között volt, míg korrigált vízszintekhez, mint referencia értékehez történő viszonyítás esetén (**6.8 táblázat**) **0,112-0,130 m** határokon belül alakult.

Adott vizsgált napot tekintve a legrosszabb közelítés minden esetben a **valós partélel** alkalmazott Forchheimer-Dietz féle megoldással volt számítható (**6.7 és 6.8 táblázatok**), melyek rendre **0,714-0,852 m** (**6.7 táblázat**) és **0,310-0,437 m**

(6.8 táblázat) értékhatárok között mozogtak. A szélső megoldások átlagos abszolút eltéréseinek különbsége mért vízszint-adatokhoz viszonyított számítások esetén (6.7 táblázat) 0,209-0,365 m, míg a korrigált vízszint-adatokhoz viszonyított számítások esetén (6.8 táblázat) 0,180-0,308 m között alakult.

Az adatok és eredmények naponként és mérőobjektumonként való bontásban részleteiben a 6. melléklet 20-23. és 24-27. táblázatokban tanulmányozhatók.

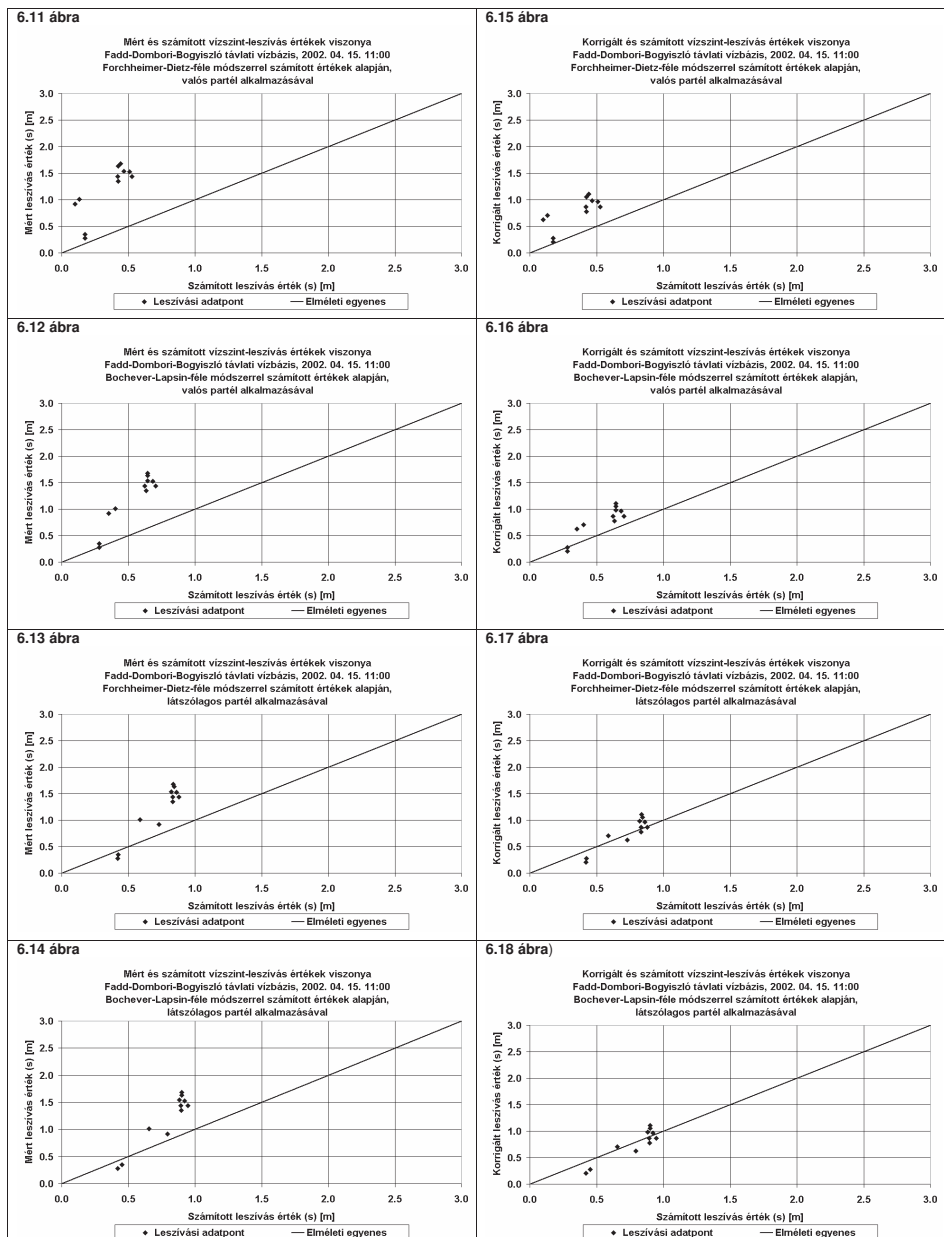
Dátum, idő		2002.03.19. 12:00		2002.03.20. 12:00		2002.04.14. 11:00		2002.04.15. 11:00	
Partél típusa		Valós	Látszólagos	Valós	Látszólagos	Valós	Látszólagos	Valós	Látszólagos
Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m]									
Módszer	Forchheimer-Dietz	0,830	0,511	0,852	0,566	0,714	0,527	0,767	0,492
	Bochever-Lapsin	0,619	0,465	0,671	0,508	0,629	0,505	0,611	0,452
Max-min eltérés		0,365		0,344		0,209		0,315	

**6.7 táblázat** Mért és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m], Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis

Dátum, idő		2002.03.19. 12:00		2002.03.20. 12:00		2002.04.14. 11:00		2002.04.15. 11:00	
Partél típusa		Valós	Látszólagos	Valós	Látszólagos	Valós	Látszólagos	Valós	Látszólagos
Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m]									
Módszer	Forchheimer-Dietz	0,415	0,136	0,437	0,169	0,310	0,142	0,353	0,120
	Bochever-Lapsin	0,214	0,113	0,258	0,129	0,236	0,130	0,211	0,112
Max-min eltérés		0,302		0,308		0,180		0,241	

**6.8 táblázat** Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései [m], Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis

A példaként bemutatott 2002. április 15-i napra vonatkozó elemzéseket a 6.11–6.18 ábrák szemléltetik. A terepen mért vízszintekhez (6.11–6.14 ábrák), illetve a Jacob-féle módszerrel (Jacob 1963) korrigált (6.15–6.18 ábrák) vízszintekhez viszonyított adatok grafikonjai két oszlopban egymás alatt szerepelnek. Míg az azonos számítási módszerrel és azonos partél típussal kiértékelt adatok grafikonjai (6.11 és 6.15 ábrák) (6.12 és 6.16 ábrák) (6.13 és 6.17 ábrák) (6.15 és 6.18 ábrák) egymás mellett helyezkednek el. Ezen az ábrasoron szemléletesen nyomonkövethető az egyes vizsgálati módszerek hatékonysága. Felhívom a figyelmet a két szélső esetre (6.11 és 6.18 ábrák).



6.13 ábra

Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya  
Fadd-Dombori-Bogviszló távlati vízbázis, 2002. 04. 15. 11:00  
Forchheimer-Dietz-fele módszerrel számított értékek alapján,  
látszólagos partél alkalmazásával

• Leszívási adatpont — Elméleti egyenes

6.14 ábra

Mért és számított vízszint-leszívás értékek viszonya  
Fadd-Dombori-Bogviszló távlati vízbázis, 2002. 04. 15. 11:00  
Bochever-Lapsin-fele módszerrel számított értékek alapján,  
látszólagos partél alkalmazásával

• Leszívási adatpont — Elméleti egyenes

6.15 ábra

Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya  
Fadd-Dombori-Bogviszló távlati vízbázis, 2002. 04. 15. 11:00  
Forchheimer-Dietz-fele módszerrel számított értékek alapján,  
valós partél alkalmazásával

• Leszívási adatpont — Elméleti egyenes

6.16 ábra

Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya  
Fadd-Dombori-Bogviszló távlati vízbázis, 2002. 04. 15. 11:00  
Bochever-Lapsin-fele módszerrel számított értékek alapján,  
valós partél alkalmazásával

• Leszívási adatpont — Elméleti egyenes

6.17 ábra

Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya  
Fadd-Dombori-Bogviszló távlati vízbázis, 2002. 04. 15. 11:00  
Forchheimer-Dietz-fele módszerrel számított értékek alapján,  
látszólagos partél alkalmazásával

• Leszívási adatpont — Elméleti egyenes

6.18 ábra

Korrigált és számított vízszint-leszívás értékek viszonya  
Fadd-Dombori-Bogviszló távlati vízbázis, 2002. 04. 15. 11:00  
Bochever-Lapsin-fele módszerrel számított értékek alapján,  
látszólagos partél alkalmazásával

• Leszívási adatpont — Elméleti egyenes

---

A vízszint-leszívási számítások eredményeinek analitikus és grafikus elemzéseit igazolják a felhasznált kutatási módszerek (rendszersematizáció; aktuálisan kijelölt látszólagos partél; Jelölt által egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle megoldás; esetleg a közel azonos, megoldást biztosító egyszerűbb Forchheimer-Dietz-féle módszer; vastag, nem teljes harántolású vízáadó esetén vízszint-leszívás korrekció) alkalmazhatóságát és egyben használatuk szükségességét.

#### **6.2.4 Mederközvetítő réteg hidraulikai paraméterei**

A mederközvetítő réteg vastagsági szélsőértékeit a Rákóczi (1997), Schubert (2003) és Rück (2007) nyomán ezen a mintaterületen is 0,1-1 m-ben állapítom meg.

$1/c_0$  értékei a vizsgált négy napot együttesen tekintve  $4,23E+00$ - $4,15E+00$  1/d között mozogtak,  $1,58E+01$  1/d átlagérték mellett, míg a hidraulikai ellenállás ( $c_0$  [d])  $2,41E-02$ - $2,37E-01$  d közötti értékekkel volt jellemezhető, átlagértéke  $1,26E-01$  d volt (6.6 táblázat), (6. melléklet 19. táblázat).

Ezek alapján a mederközvetítő réteg  $K_{0,min}$  és  $K_{0,max}$  értékekkel, illetve ezek szélsőértékeivel és átlagaival volt jellemezhető, melyek rendre:  $K_{0,min}$ :  $4,23E-01$ - $4,15E+00$  és  $1,58E+00$  m/d, valamint  $K_{0,max}$ :  $4,23E+00$ - $4,15E+01$  és  $1,58E+01$  m/d (6.6 táblázat), (6. melléklet 19. táblázat). Ezek az adatok 1-2 nagyságrenddel alulmúlják a felszín közeli durvatörmelékves vízadóra vonatkozó  $5,58E+1$  m/d nagyságú szivárgási tényező értéket és jellemzően közvetlisztes-finomhomokos üledékekre vonatkoznak.

### **6.3 PARTI SZÜRÉSŰ VÍZTERMELŐ TELEPEK MÉRLETEZÉSE**

A Jelölt által ismertetett parti szűrésű (PS) kutatási módszertan alapján a feldolgozott mintaterületek mérési-számítási eredményei segítségével mód nyílik a vizsgált PS rendszert általánosan jellemző állapot felvételére, mellyel a tervezett maximális kivételi vízmennyiség ismeretében az adott partszakasz víztermelő objektumainak műszaki kialakítása, darabszáma és tartós üzeme melletti biztonságos hozama meghatározható. Bár a PS rendszer működését a tavaszi és őszi középvízi folyóvízszint mellett kialakuló hidraulikai állapotok jellemzik általánosan, mégis a hosszú távú biztonságos üzemeltetés megtervezésekor célszerű a rendszernek a legkedvezőtlenebb hidraulikai állapottal, a kis-középvízi

---

folgyóvízállással és alacsony felszíni vízhőmérséklettel jellemezhető téli-kora tavaszi időszak alatt történő vizsgálata.

### **6.3.1 Váli-víz torkolat**

A terepi mérések, vizsgálatok és számítások eredményei alapján a Duna jobb partján, 1602,6–1603,6 fkm szelvények közötti szakaszon kijelölt Váli-víz torkolat távlati vízbázisának kialakítására és – kialakítás esetén – az előírányzott 20 000 m<sup>3</sup>/d parti szűrésű védendő vízmennyiség optimális kinyeréséhez szükséges üzemeltetésére tett javaslatok az alábbiakban foglalhatók össze:

- *Termelőkutak darabszáma, kiképzése:* 10 db nagy (min. 280/250 mm) átmérőjű, 15 méteres talpmélységű termelőkút.
- A termelőkutak átmérőjének növelésével az aktuális víztermelési hozamhoz tartozó hidraulikus depresszió mértéke csökkenthető.
- *Termelőkutak szűrőzése:* a part menti 8-9 m vastag vízáadó alsó, fekvő fölött fél métertől kezdődő, 7,5 méteres szakaszán.
- *Termelőkutak Dunától való optimális távolsága a parton:* Duna középvízi (Váli-víz torkolat, 94 mBf) partélétől 30 méterre.
- *Kutak helyzete, egymástól való távolsága:* a kijelölt 1 km-es partszakaszon (1062,6–1063,6 fkm), az É-i és a D-i határtól 50-50 méterre kezdődően egymástól 100 méter távolságra; ekkor az optimális (2000 m<sup>3</sup>/d) termelés hatására létrejövő hidraulikus depresszió-terek szuperpozíciója a kúttávolság-szakaszok felezőiben deciméteres nagyságrendű, azaz a termelőkutak egymásrahatása a vízkivételi pontokon gyakorlatilag nulla.
- A **2.1 fejezetben** közölt definíciót tekintve, a rendszer csak a meder oldal felől a parti- és a meder szűréssel együttesen érkező vizek alapján nevezhető parti szűrésű víztermelő rendszernek.
- *Parti szűrés hatásfokának növelése:* A parti- és mederszűrés együttes aránya a vízkitermelés fokozásával növelhető, a kutankénti biztonságos maximális (2000 m<sup>3</sup>/d) termelési hozamhoz tartozó 70-75 %-os részarányig.

---

### 6.3.2 Fadd-Dombori-Bogyiszló

A terepi mérések, vizsgálatok és a számítások eredményei alapján a Duna jobb partján, a délebbi 1502,75–1503,25 fkm és az északabbi 1505,61–1506,31 fkm szelvények közötti szakaszon kijelölhető Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázisának kialakítására és – kialakítás esetén – az előírányzott 12 000 m<sup>3</sup>/d, alárendelten parti szűrésű védendő vízmennyiség optimális kinyeréséhez szükséges üzemeltetésére tett javaslatok az alábbiakban foglalhatók össze:

- *Termelőkutak darabszáma, kiképzése:* 8 db nagy (500 mm) átmérőjű, 15 méteres talpmélységű termelőkút.
- *Termelőkutak szűrőzése:* a vízáadó felső, fedő alatt települő szóróvanykavicsos-durvahomokos szakaszán, 7-12 méteres mélységközben, mellyel a PS részaránya kismértékben növelhető.
- *Termelőkutak Dunától való optimális távolsága a parton:* Duna középvízi (Fadd-Dombori-Bogyiszló, 85,5 mBf) partlétől 15 méterre.
- *Kutak helyzete, egymástól való távolsága:* a kijelölt É-i és D-i partszakasz É-i és D-i határaitól minimum 100-100 méterre kezdődően, egymástól 100 méter távolságra; ekkor az optimális, a védendő víztermelést bőven kielégítő  $Q=2160 \text{ m}^3/\text{d}$  hozamú termelés hatására létrejövő depresszió-terek – és így a termelőkutak – egymásrahatása zérus. Maximális – egyenként  $Q=4320 \text{ m}^3/\text{nap}$  hozamú – üzemeltetés mellett a kúttávolság-szakaszok felezőiben az egymásrahatás cm-es nagyságrendű, azaz a vízkivételi pontokon gyakorlatilag elhanyagolható mértékű.
- A terület a **2.1 fejezetben** meghatározottak értelmében nem tekinthető parti szűrésű vízbázisnak, mivel a kitermelt víznek mindössze 1/4-e, 1/3-a származik a folyóoldal felől, melyből csupán 7-21 % a felszíni eredetű víz részaránya.
- *Parti szűrés részarányának növelése:* A parti szűrésű kitermelt víz részaránya a vízkitermelés fokozásával és a kutak próbatermelő (BP-I) kúthoz képest sekélyebb mélységű szűrőzött szakaszokkal történő kialakításával növelhető, bár ezekkel sem lesz elérhető a folyóoldalról parti- és mederszűrőssel érkező víz 50 %-ot meghaladó részaránya.



---

## 7. KUTATÁSI MEGKÖZELÍTÉS ÉRTÉKELÉSE

A mintaterületeken végzett kutatások eredményei ismeretében, a parti szűrésű (PS) víztermelő rendszerek megismerését célzó, dolgozatban bemutatott egységes kutatási megközelítés értékelhetővé vált mind az alkalmazhatósága, mind a korábbi vizsgálati módszerekhez való viszonya, az azokhoz történt előrelépés tekintetében. (A referenciaként ajánlott adatok csak az azokat meghatározó rendszerparamétében értékelhetők).

- A parti szűrésű (PS) víztermelő rendszer – a dolgozatban megfogalmazott célok eléréséhez – permanens hidraulikai állapotai mellett analitikusan vizsgálható.
- Kutatáselőkészítő vízföldtani, hidraulikai vizsgálatok alapján Dupuit (1863), Thiem (1906), Tóth (1963), Kovács (1972) és Király (1994) nyomán szükségesnek tartom a PS rendszer sematikus leképezését, a dolgozatban bemutatott eljárás szerint. Ezek után a kutatás tárgyát az egyszerűbben vizsgálható, de a *valós rendszerrel* hidraulikailag egyenértékű *sematikus leképezett (sematizált) PS rendszer* kell, hogy képezze. A *sematizált PS rendszerre* elvégzett – a dolgozatban az egységes kutatási megközelítésben bemutatott – hidraulikai vizsgálatok eredményei egyúttal a *valós PS rendszert* is kielégítő mértékben jellemezni fogják.

Az egyszerűsített PS rendszer bizonyos elemei számos elvi ábrán megjelennek valamilyen formában (Mikels és Klaer Jr. 1956, Bochever et al. 1978, 1979, Székely 1981, Léczfalvy 1980, 2004, Juhász 1987, Völgyesi 1993, 2005). Az erre vonatkozóan ismertetett eljárás elvben bármely PS rendszer értékelésének alapja lehet. A sematizált PS rendszer meghatározása mégis újdonság a szakirodalomban.

- Az egységes kutatási megközelítésben bemutatott számítási eljárásokat két mintaterület nagyszámú adataival történt tesztelési eredményei igazolták. Az alkalmazott rendszer-transzformációs eljárások:
  - *valós PS rendszer sematikus leképezése;*
  - *hatékony partél meghatározás;*
  - *látszólagos partél meghatározás.*

---

Ezek szükségessége, mind a mederoldali, mind a partoldali hidraulikai vizsgálatokra vonatkozóan bizonyítást nyert.

- A teljes körű rendszervizsgálathoz a kutatás alapján a terepen rögzített *valós partétől* eltérő helyzetű *másodlagos parté(ek)* meghatározása szükséges. Az eddigi nemzetközi és hazai szakirodalmi gyakorlattal (Forchheimer 1935, Dietz 1943, Kazmann 1946, Kazmann 1948a, Rorabaugh 1951, Mikelis és Klaer Jr. 1956, Bochever 1968, Bochever et al. 1978, 1979, Székely 1981, Kruseman és De Ridder 1983, Völgyesi 1995, Aujeszky 1985, Rózsa 2000) ellentétben, melyek vagy nem, vagy csak egyféleképpen – és értékelésem szerint hibás helyzetben – veszik figyelembe a másodlagos partét, véleményem szerint kétféle másodlagos partét (*hatékony; látszólagos*) meghatározása szükséges. Ezek pontos helyzetét a partoldali potenciométerek és a vízzel telített mederben kialakított mederszondák vízszint-adatainak Dupuit (1863), Thiem (1906) és Kazmann (1948a) nyomán kidolgozott eljárással határoztam meg.
- A megbízható számítások érdekében, a termelőkúttól, mint középponttól irányonként legalább 3-3 db figyelőobjektum kialakítása szükséges a *kitüntetett szelvényben*, a PS termelőkút várható maximális távolhatási zónáján (rendszerből függően, de általában mintegy 50-80 m) belül. Továbbá erre a tengelyre merőlegesen irányonként legalább 1-1 db figyelőobjektum szükséges a PS termelőkút környezetében, ennél kevesebb objektummal az adatok és így a belőlük levezetett számítások bizonytalanok válnak.
- A PS rendszerek teljes körű vizsgálatához a vízzel telt mederben ideálisan 3 db, a felszín közeli vízáddal hidraulikai kapcsolatban lévő mederszonda kialakítása szükséges, de a mintaterületi tapasztalataim alapján a mérések – tekintettel a meder oldali kutatási körülményekre – minimálisan 2 db kialakított mederszondával is elvégezhetők, de ez esetben a számítások szintén bizonytalanok válnak.
- A partoldali háttértávolfatás ( $R_P$  [m]) meghatározására a Dupuit-Thiem távolság-leszívás módszer (Dupuit 1863, Thiem 1906) mindkét mintaterületen használhatónak bizonyult.  
Váli-víz mintaterületen a háttér felé kialakult távolfatás ( $R_P$  [m]) minimuma 60,33 m, maximuma 105,40 m volt a vizsgált időszakban maximális 2124-2148 m<sup>3</sup>/d víztermelés mellett.

---

Fadd-Dombori-Bogyiszlón az  $R_p$  nagysága 44,35-74,84 m között alakult a két vizsgált időszakban ugyanakkora víztermelési kapacitás ( $4320 \text{ m}^3/\text{d}$ ) mellett.

Mindkét esetben megfigyelhető volt, hogy ugyanakkora víztermelési hozam eléréséhez alacsonyabb folyóvízállás idején nagyobb vízszint-leszívásra volt szükség, ezért ekkor a PS termelőkút háttértávolsága kiterjedt.

Az ezzel a módszerrel megismert, a folyóhatással legkevesbé érintett depressziós görbe segítségével meghatároztam a valós partélnél, folyóhatás nélkül elméletileg kialakuló *látszólagos leszívást* ( $s_L$  [m]) is, melynek ismerete további hidraulikai vizsgálatok elvégzéséhez szükséges. A *látszólagos leszívást* ( $s_L$  [m]) a depressziós görbén a valós partél termelőkúttól a háttér irányába felmért távolsága ( $x_0$  [m]) alapján kijelölt pont vízszint adata adja meg.

A *látszólagos leszívás* ( $s_L$  [m]) értékek egy adott nap tekintetében minden esetben mintegy 0,2-0,4 m-rel meghaladták a valós ( $s_v$  [m]), illetve Fadd-Dombori-Bogyiszló esetében az azok alapján számított, korrigált ( $s_k$  [m]) vízszint-leszívási értékeket.

A Váli-víz mintaterületre az  $s_L$ -t [m] 0,603-1,104 m, míg Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületre 0,466-0,615 m közötti értékekkel határoztam meg. A közölt értékek, szakirodalmi előzmények hiányában referencia-adatként értékelhetők.

- A *meder alatti hatékonyság* (valós) *távolság* ( $R_H$  [m]) és ezzel a *hatékony partél* helyzete csak és kizárólag a vízzel telített mederben kialakított mederszondák segítségével határozható meg. Ilyen jellegű vizsgálatokra Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületen, megfelelő számban egyidőben mérhető mederszondák hiányában nem volt lehetőségem.

A Váli-víz torkolatra  $R_H$  [m] 2002. február 6-10. között 33,75-38,12 m minimum-maximum és 35,81 m átlag-értékű, míg 2002. február 17-26. között 31,04-32,08 m szélső- és 31,78 m közép-értékű volt.

Egyéb kutatási helyszínekre közölt szakirodalmi adatok hiányában ezek az eredmények is referenciaként értékelhetők a további helyszíneken történő kutatások számára.

A *meder alatti hatékonyság távolság* ( $R_H$  [m]) alapján a *hatékony partél* helyzete, az aktuális *valós partél* ( $x_0$  [m]) helyzetétől függően megadható  $\Delta L_H$  [m], a *valós partél* meder irányú eltolásának mértéke.

---

Váli-víz mintaterületen a *hatékony partél* helyzete  $\Delta L_H = -7,06$  m –  $-14,32$  m közötti, zömében  $-10$  m-t kissé meghaladó távolságú meder irányú *valós partél* eltolással ( $\Delta L_H$  [m]) volt kijelölhető. A partél eltolás átlaga  $\Delta L_H = -10,68$  m értéknek adódott. Az adatok aktuális napi értékei az *aktív hatékony partélszakasz* kiszámításakor kerültek felhasználásra.

A másodlagos partél szakirodalmi meghatározási módszereinek problematikáját már tárgyaltam a dolgozatban, ezek véleményem szerint nem adnak megfelelő eredményt a vizsgált kérdésre. A dolgozatban ismertetett adatok egyéb szakirodalmi adatok hiányában kiindulási alapot jelenthetnek a további kutatások számára.

Az eljárás segítségével a *valós partél* alatti *valós vízszint-leszívás* ( $s_v$  [m]) pontos értékét is meghatároztam, mely jellemzően  $0,3-0,8$  m között alakult mindkét mintaterületen. Az  $s_v$  pontos értékét a Völgyesi-féle (Völgyesi 1993) mederkapcsolati hatásfok (MH %) számításnál használtam fel. Völgyesi (1993)  $s_v$  értékét Bochever et al. (1978, 1979) munkái nyomán, nem reprodukálható számítógépes algoritmusok segítségével adta meg, amely az alpmódszer hiányosságai és a számítás reprodukálhatatlansága miatt csak becslésnek értékelhető.

- A *meder alatti látszólagos távolhatás* ( $R_L$  [m]) mindkét mintaterületen meghatározható volt, melynek nyomán a *látszólagos partél* aktuális helyzetét is megállapítottam a *valós partél* ( $x_0$  [m]) meder irányú,  $\Delta L_L$  [m] mértékű eltolásával.

A Váli-víz mintaterületen a *látszólagos meder alatti távolhatás* ( $R_L$  [m])  $54,12$  m átlagérték mellett  $48,21-59,45$  m között alakult 2002. februárjában, míg a  $\Delta L_L$  [m] távolság  $-24,58$  -  $-37,49$  m értékközzel volt megadható.

Fadd-Dombori-Bogyzisló esetén  $R_L$  [m]) értékét  $35,71-64,27$  m értékhatarokkal számítottam, melynek nyomán  $\Delta L_L$  [m]  $-22,48$  –  $-49,47$  m között alakult.

A közölt értékek, szakirodalmi előzmények hiányában referencia-adatként értékelhetők. Aktuális napi értékeik a partoldali vízszint-leszívás számításnál kerültek felhasználásra.

- A vízszint-leszívás számítás elvégzéséhez legmegfelelőbb a mederellenállást is magában foglaló, általam egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle módszer

---

(Bochever et al. 1978, 1979) alkalmazása volt a látszólagos partél figyelembe vételével. Ezek igazolják a látszólagos partél alkalmazhatóságát és szükséges felhasználását. Ezzel a számítási eljárással a mintaterületek kutatási eredményeit figyelembe véve, az összes vizsgált figyelőpontra az átlagos vízszint-leszívás adatok mintegy 0,2-0,5 m-el (Váli-víz: 0,330-0,534 m; Fadd-Dombori-Bogyiszló: 0,209-0,365 m) pontosabban meghatározhatók voltak. Ez azt jelenti, hogy a bevezetett módszerrel – a több vizsgálati nap adatainak elemzése alapján kiválasztott – permanens hidraulikai állapotú rendszerben a part menti figyelőpontok esetében mért és azokra számított vízszint-leszívás értékek átlagos abszolút eltérései 0,3-0,46 m-re (Váli-víz: 0,302 m; Fadd-Dombori-Bogyiszló: 0,465 m) minimalizálhatók. A szakirodalom alapján széles körben alkalmazott, valós partélt felhasználó Forchheimer-Dietz-féle (Forchheimer 1925, Dietz 1943) megoldással, ugyanazon bemenő adatokkal 0,83 m-es átlagos abszolút eltéréssel számíthatók a partoldali vízszint-leszívás értékek (Váli-víz: 0,836 m; Fadd-Dombori-Bogyiszló: 0,830 m).

- Vastag, a PS termelőkút szűrőzött szakaszával nem teljesen harántolt vízadó esetén a Jelölt által bemutatott, a partoldali területre vonatkozó hidraulikus depresszió-számítás alkalmazásához szükséges a terepen mért vízszint-leszívás értékek korrekciója, melyre például a Hantus (1956, 1960) által közölt korrekciós módszer használható fel. E korrekciós számítás előnye, hogy a termelőkút közvetlen környezetére is alkalmazható. A két mintaterület közül Fadd-Dombori-Bogyiszlón volt szükség a vízszint-korrekció elvégzésére, mely után az általam átdolgozott és egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle módszerrel (Bochever et al. 1978, 1979) módszerrel a korrigált és a számított vízszint-leszívás értékek 0,130-0,112 m-re voltak leszoríthatók. Ez átlagosan 0,7 m-rel pontosabb számítást jelent a Forchheimer-Dietz-féle (Forchheimer 1925, Dietz 1943) megoldáshoz (Fadd-Dombori-Bogyiszló: 0,830 m) képest.

A fentiek alapján dolgozatban bevezetett vízszint-leszívás számítási módszer alkalmas a PS termelőkút által okozott hidraulikus depresszió tetszőleges partoldali(!) pontban történő számítására. A módszer az eddig ismert számítási eljárásoknál lényegesen pontosabb eredmény szolgáltat. Ez a gyakorlati élet szempontjából elhanyagolható, 0,1-0,3 m-es átlagos abszolút

---

eltérést jelent a mért, vagy szükség esetén korrigált és a számított vízszint-leszívás értékek között.

- A vízszint-leszívás adatok elemzése alapján megállapítható, hogy viszonylag jó közelítést ad a vízszint-leszívás adatok kifejezésére az általam bevezetett *látszólagos partéllal* felhasznált Forchheimer-Ditz-féle megoldás is. Ezzel mindössze 0,01-0,17 m-rel nagyobb átlagos abszolút eltéréssel adhatók meg a számítási eredmények az előzőekben elemzett módszerhez képest.
- A vízszint-leszívási számítások eredményeinek analitikus és grafikus elemzése igazolja a bevezetett, illetve felhasznált kutatási módszerek alkalmazhatóságát és használatuk szükségességét:
  - rendszersematizáció;
  - aktuálisan kijelölt *látszólagos partéllal*;
  - az egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle (Bochever et al. 1978, 1979) megoldás;
  - esetleg a *látszólagos partéllal* közel azonos, megoldást biztosító egyszerűbb Forchheimer-Dietz-féle (Forchheimer 1935, Dietz 1943) módszer;
  - vastag, nem teljes harántolású vízádó esetén vízszint-leszívás korrekció (Hantush 1956, 1960).
- Az előkészítő vizsgálatokkal és a *látszólagos partéllal* az általam egyszerűsített Bochever-Lapsin-féle (Bochever et al. 1978, 1979) megoldás nyomán a mederfenéken kialakuló rossz vízvezetőképességű *mederközvetítő réteg* hidraulikus ellenállása ( $c_0$  [d]) (Hantush 1956, 1960) (reciprok formában ( $1/c_0$  [1/d])) meghatározhatóvá vált. A szakirodalomban az alábbi értékek találhatók  $c_0$ -ra (az  $1/c_0$ -ként közölt értékeket reciprokszámítás elvégzésével közlöm): Székely (1981): 1,00E+01-1,00E+02 [d] (becsléssel megadott); Völgyesi (1993): 2,10E-01-5,00E+00 [d] (nem reprodukálható számítással megadott); Zima (1988): 4,16E+00-1,43E+01 [d] (mérések alapján megadott). A Duna Váli-víz torkolat távlati vízbázis partszakasza előtt kialakult mederközvetítő réteg hidraulikai ellenállása ( $c_0$  [d]) 2002. februárjában számításaim alapján 5,06E-01 - 5,15E+00 d közötti értékekkel volt jellemezhető, átlagértéke 1,80E+00 d volt. Fadd-Dombori-Bogyzsló partszakasza előtt 2,41E-02 - 2,37E-01 d közötti értékeket határoztam meg, 1,26E-01 d átlagérték mellett. Ezek az egzakt számítással kifejezett értékek a

---

szakirodalmi értéktartomány ( $2,10\text{E}-01 - 1,00\text{E}+02$  [d]) alsó részébe esnek, illetve Fadd-Dombori-Bogyiszló esetén, a minimumértéket tekintve egy nagyságrenddel alulmúlják annak alsó határát.

Az egységes kutatási megközelítéssel a *mederközvetítő rétegre* számított hidraulikus ellenállási értékek ( $c_0$  [d]) a szakirodalmi adatok alapján reális értéktartományt fednek le és alacsony értékeikkel jelzik a vizsgált réteg alacsony fejlettségi fokát mindkét mintaterületen. A számítási eredmények egyúttal alátámasztják a kis folyóvízállás mellett tett terepi megfigyeléseimet, illetve a medergeofizikai kutatások eredményeit (Geomega Kft. 2001a, 2001c), melyek alapján a mederfenék jelentős feliszapolódása sehol nem volt észlelhető, a kiüledő finomszemcsés (agyagos kőzetliszt-finomhomok) frakció a durvakavicsos mederfelszín nagyméretű pórusterit töltötte ki.

- A *mederközvetítő réteg* vastagsági ( $b_0$  [m]) szélsőértékeit, az *e* rétegre vonatkozó szakirodalmi adatok (Rákóczi 1997, Schubert 2003, Rück 2007) alapján a mintaterületeken 0,1-1 m-ben állapítottam meg.
- A *mederközvetítő rétegre* számított hidraulikus ellenállási értékek ( $c_0$  [d]) és *e* réteg vastagságára ( $b_0$  [m]) közölt szakirodalmi adatok alapján kifejeztem az adott vizsgált mintaterületen előforduló rétegre vonatkozó szivárgási tényező ( $K_0$  [m/d]) értékét.

A mederközvetítő réteg vízvezetőképességének szélsőértékeit ( $K_{0,\min}$  és  $K_{0,\max}$ ) Váli-víz mintaterületen:  $K_{0,\min}$ :  $1,94\text{E}-02$  m/d, valamint  $K_{0,\max}$ :  $1,94\text{E}-01$  m/d, míg Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületen  $K_{0,\min}$ :  $4,23\text{E}-01$  m/d és  $K_{0,\max}$ :  $4,23\text{E}+00$  m/d adatokkal határoztam meg. Ezek az értékek 1-4 nagyságrenddel alulmúlják a felszín közeli – meder alatti durvatörmelékves vízadóra a kutatáselőkészítési fázisban meghatározott  $1,10\text{E}+02$  m/d (Váli-víz), illetve  $5,58\text{E}+01$  m/d (Fadd-Dombori-Bogyiszló) átlagos szivárgási tényező értéket. A számított adatok Freeze és Cherry (1979) nyomán mindkét mintaterületen jellemzően agyagos-kőzetlisztes-finomhomokos üledékekre vonatkoznak.

- Az *aktív hatékony partélszakaszt* ( $2y_H$  [m]) a PS termelőkút háttértávolsága ( $R_P$  [m]) és a *hatékony partél* helyzete alapján, azok metszéspontjaival határoztam meg.

A vizsgálat csak a Váli-víz mintaterületre volt elvégezhető a mederszonda-technika alkalmazhatósága miatt.

---

*Az aktív hatékony partszakasz hosszúsága ( $2y_H$  [m]) a 2002. februárjában vizsgált napokban 60 m-t nem meghaladó eltéréssel, 119,55-177,99 m szélsőértékek között mozgott. Az adatokat előzmények hiányában referenciául szolgálnak és a folyó felőli összes vízhozam kiszámításához használhatók fel.*

- A folyó felőli összes vízhozamot Bochever et al. (1979) munkája nyomán, de azt a dolgozatban bemutatott hatékony partél távolságával ( $R_H$  [m]) és az aktív hatékony partszakasz felének ( $y_H$  [m]) figyelembe vételével pontosítva határoztam meg. A módszerben a Bochever et al. (1979) által a fenti komponensek hányadosa ( $y_H/R_H$ ), továbbá a folyó felőli összes hozam ( $Q_{F+M}$  [ $m^3/d$ ]) és a PS kút által termelt teljes hozam ( $Q$  [ $m^3/d$ ]) hányadosa ( $Q_{F+M}/Q$ ) között szemléltetett függvénykapcsolatot Völgyesi (2008) nyomán, pontosítva fejeztem ki.  $Q_{F+M}$  [ $m^3/d$ ] értéke a többi adat ismeretében kifejezhető.

Az ismertettek miatt csak a Váli-víz mintaterületre elvégezhető vizsgálat eredményeit tekintve, abszolút értékben a folyó felőli napi hozam ( $Q_{F+M}$  [ $m^3/d$ ]) 1375-1720  $m^3/d$  között alakult, átlagosan 1520  $m^3/d$  volt, 2124  $m^3/d$ , illetve 2148  $m^3/d$  teljes kitermelt vízmennyiség mellett. Ez legkevesebb 64 %, legtöbb 81 %, átlagosan 71 % folyóoldali vízrészeseledést ( $Q_{F+M}$  [ $m^3/d$ ]) jelentett.

- A fenti hozamkomponens ( $Q_{F+M}$  [ $m^3/d$ ]) elemeinek szétválasztására a Völgyesi (1993) által bevezetett félkvantitatív mederkapcsolati határfok (MH %) eljárást használtam, a valós partélre reprodukálható módon és pontosan kifejezett valós ( $s_V$  [m]) és látszólagos ( $s_L$  [m]) vízszint-leszívás értékek megadása mellett.

MH % – a többi medervizsgálati módszerhez hasonlóan – csak a Váli-víz mintaterületre volt értelmezhető. Értéke 18-52 % között alakult a átlaga 37 % volt. Völgyesi (1993) a Dunára két eredményt 10,5 % (Táti Dunaág) és 19,7 % (Mohácsi-sziget) ad közre. A Táti Dunaág esetében a holtág-jelleg (Völgyesi 1993) és az abból adódó feliszapolódás magyarázza az alacsony MH % értéket, míg a mohácsi adat dolgozatban közölt eredmények minimumán van. Mint az általam közreadott adatok igazolják, az egy adatot alapul véve nem adható megbízható rendszerjellemzés.



MH % alapján a folyó felől származó öszszvízhozam-komponensből ( $Q_{F+M}$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) leválasztható a folyóból érkező vízhozam ( $Q_F$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) és ezzel a mederkomponens ( $Q_M$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) is értelmezhetővé vált.

- Az általam pontosított módszerekkel meghatározott folyó oldali vízhozamkomponensek ( $Q_F$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]), ( $Q_M$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]), valamint a teljes termelési hozam ( $Q$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) (mért) ismeretében a háttér felől érkező vízhozam ( $Q_P$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) is megadható a dolgozatban bevezetett módszer szerint. A mintaterületek közül csak a Váli-vízre értelmezhető hozamkomponenseket a

**6.2 táblázat** ismételt közlésével mutatom be.

Hozamkomponens	Átlagos arány	Minimális arány	Maximális arány	Átlagérték	Átlagérték
	[%]	[%]	[%]	[ $\text{m}^3/\text{d}$ ]	[ $\text{m}^3/\text{d}$ ]
$Q_{F+M}$	73	64	81	1579	1450
$Q_F$	30	24	34	669	558
$Q_M$	43	38	47	910	809
$Q_P$	27	19	36	545	698
$Q$	100	nem értelmezhető		2124	2148

**6.2 táblázat** Vízkeveredési arányok a VPT-1 termelőút vizében, 2002. február, Váli-víz torkolat távlati vízbázis, átlagos folyóvíz-hőmérséklet:  $7^\circ\text{C}$ , átlagos folyó-vízszint: 94,19 mBf (ahol:  $Q_{F+M}$ : folyóoldal felől, a folyóból és a meder alatti vízádból származó vízhozam-komponens;  $Q_F$ : folyóból származó vízhozam-komponens;  $Q_M$ : meder alatti vízádból származó vízhozam-komponens;  $Q_P$ : háttér felől (part) származó vízhozam-komponens;  $Q$ : VPT-1 kút víztermelése)

A vízhozam-komponensek arányaira számított eredmények alapján megállapítható, hogy 123/1997. (VII. 18.) Kormányrendeletben foglalt, parti szűréssel szemben támasztott követelmény, azaz a legalább 50 %-os mértékben közvetlenül a felszíni víztestből származó vízhozamkomponens ( $Q_F$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]) jelenléte nem teljesült a vizsgált időszak alatt. A maximális folyófelőli öszszhozam ( $Q_{F+M}=81\%$ ) mellett  $Q_F$  részaránya 34 % volt, ami nem sokkal marad el tényleges maximumától ( $Q_F=38\%$  (2002. február 22.))  $Q_{F+M}=72\%$  mellett.

A méréssorozat hideg ( $5,1-8,3^\circ\text{C}$ ) hőmérsékletű Dunavíz mellett zajlott, ami a kutatási megközelítéshez fűzött megjegyzésben (**4.13 fejezet**) ismertetett

---

fizikai okok (hideg, nagy dinamikus viszkozitású víz) miatt nem kedvez a PS arányának növeléséhez.

Ha a folyó felől érkező összvízhozam arányát ( $Q_{F+M}=64-81\%$ ) tekintjük, megállapítható, hogy a terület kedvező adottságú parti szűréssel kiegészülő meder szűrésű vízműutak létesítésére.

A hozamarányok hidraulikai szempontból válszat adnak az általában "tisza", emberi eredetű szennyeződésektől "mentes" PS vizek kialakulására. Véleményem szerint az elsődleges faktor a vízkeveredés nyomán fellépő hígulás. A PS rendszerben az antropogén hatásokkal szemben legkedvezőbb helyzetben a meder alatti vízáadó primer vize ( $Q_M$ ) van, mely mélyebb vizek feláramlásából, a parti szűréssel érintett és a túloldali felszín közeli vízáadóból történő vízhozzászivárgásból és a meder felsőbb szakaszain a folyóból esetleg a mederfelszín alá szivárgó vizekből együttesen táplálkozik. Mivel voltaképpen már önmagában ez a komponens is egyfajta kevert víz, melynek természetes kialakulása lassú folyamattal megy végbe, van elegendő idő az esetleg a meder alatti vízáadóba bejutó mesterséges szennyezőanyagok felhígulására lebomlására, azaz "tisza" víz létrejöttére. Mivel mindig ez a meghatározó vízhozamkomponens a kitermelt vízben, ezért döntően és jó irányba befolyásolja a kitermelt víz minőségét. Emellett természetesen szerepet játszik a szintén jelentős súllyal bíró, felszín alá bejutó folyóvíz ( $Q_F$ ) szűrési folyamata nyomán fellépő tisztulási is. Mindezek azt eredményezik, hogy kedvező adottságú PS víztermelő rendszer esetén a folyó felől együttesen érkező vízhozamkomponens ( $Q_{F+M}$ ) kellően tiszta és elegendően nagy arányú ahhoz, hogy a háttér felől érkező, esetleg antropogén szennyezést tartalmazó vizet ( $Q_P$ ) felhígítsa és ezzel összességében egy kedvező vízminőség jöhhessen létre. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy a háttérvíz ( $Q_P$ ) minősége indifferens, mivel ezek a folyamatok rendszertől függően, de csak bizonyos határig képesek lejátszódni.

- A eddig értékelt vizsgálatok vonatkozó eredményei
  - folyóból származó vízhozam nagysága ( $Q_F$  [ $m^3/d$ ]);
  - mederközvetítő réteg hidraulikus ellenállása ( $c_0$  [ $d$ ]);
  - valamint az átlagos meder alatti hidraulikus potenciálkülönbség ( $dh_A$  [ $m$ ])

---

ismeretében, Darcy (1856) megoldása alapján meghatároztam a PS víztermelés alatt a felszíni víz beszívargását közvetítő *aktív mederfelület* nagyságát ( $A [m^2]$ ). A számítás kiértékelhető mederszonda adatok hiányában Fadd-Dombori-Bogyiszló mintaterületre nem volt elvégezhető.

A Váli-víz torkolat mintaterületen az *aktív mederfelület* nagysága a vizsgálat idején (2002. február)  $A=2020-5347 m^2$  között adódott,  $A=3452 m^2$  átlagos kiterjedés mellett. Ez tehát a PS hatására kialakuló meder alatti deprimált hidraulikus felület felszíni vetületének kiterjedése.

Hasonló jellegű adatokat a szakirodalom nem közöl, ezért erre az egy mintaterületre végzett számításaim referencia-adatot jelenthetnek későbbi kutatások számára.

---

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS, ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A parti szűrésű (PS) víztermelő rendszerek szakirodalomban közölt hidraulikai vizsgálati módszerei a változékony környezeti feltételek, a kutatási körülmények és a rendszerek felépítéséből adódó összetett működésük miatt, nem kellőképpen kidolgozottak, ezért ezekkel nem adható teljeskörű, ugyanakkor részleteit tekintve pontos válasz e rendszerek működési mechanizmusára, paramétereinek precíz meghatározására vonatkozóan.

A PS rendszerek nemzetközi és hazai víztermelési gyakorlatot tekintve egyaránt meghatározó szerepe – a fentiek tükrében – indokolta teszi a megismerését célzó hidraulikai vizsgálatok körének áttekintését és felülvizsgálatát.

A dolgozatban a PS víztermelő rendszerek permanens állapotú hidraulikai vizsgálatára a kutatási célkitűzésben megfogalmazottak szerint új, egységes kutatási megközelítést mutattam be, mellyel a problémafelvetésben a PS rendszerek elemeire megfogalmazott kérdéskörök maradéktalanul megválaszolhatók voltak. Az egységes kutatási megközelítést a szakirodalmi vizsgálati módszerek szükségszerű pontosításával, egyszerűsítésével, illetve a dolgozatban újonnan bevezetett vizsgálati módszerekkel alakítottam ki úgy, hogy az egyes rendszervizsgálati elemek kapcsolati viszonyait is tisztáztam. Azok eredményeit egymásra építhető formában közöltem.

A kidolgozott megközelítés vizsgálati elemeit két – a dolgozatban átfogó hidrogeológiai és hidraulikai vizsgálatokkal előkészített – Duna menti mintaterületen teszteltem. A mintaterületekre végzett számítások eredményei igazolták a dolgozatban ismertetett kutatási megközelítés alkalmazhatóságát.

A dolgozatban elért új tudományos eredmények elősegíthetik a PS rendszerek elemeinek részletes megismerését és ezzel működésük pontos és átfogó leírását.

---

## 8.1 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, TÉZISEK

1. Meghatároztam a PS folyamatának fogalmát az alábbiak szerint: Álló, vagy folyó vizek partjai mentén, a felszíni és a felszín alatti víz között természetes úton létrejövő, és/vagy mesterséges módon előidézett hidraulikus potenciálkülönbség hatásra kialakuló felszín alá irányuló vízforgalom, melynek nyomán a felszíni víz a mederfenék szűrő rétegén keresztülszivárogva jut be a meder alatti vízáradóba és abban, a partoldal felé történő áramlással a felszín alatti vízrendszer részévé válik.
2. Előkészítő hidrogeológiai és hidraulikai vizsgálatokkal bemutattam a PS rendszerek sematikus leképezésének módszerét. A sematizált rendszer elemei: A) konstans vastagságú és szivárgási tényezőjű vízszintes felszín közeli vízáradó; B) konstans vastagságú és szivárgási tényezőjű vízszintes, rossz vízvezető képességű fedő; C) vízszintes felszíni, nagy (több 10 m) vastagságú vízrekesztő fekvő; D) függőleges, vízzáró oldalfalú, konstans mélységű meder; E) konstans (0,1-1 m) vastagságú, a kutatás kezdetén ismeretlen szivárgási tényezőjű mederközvetítő réteg; F) vízszintes, a felszíni víz aktuális vízállásával megegyező felszín közeli hidraulikus potenciálszint.
3. Ismertettem egy új, egységes hidraulikai kutatási megközelítést, mely a PS víztermelő rendszerek elemeire fókuszáló kérdéskörök megválaszolását célozza. Tisztáztam a saját fejlesztésű, illetve kritikailag értékelt, pontosított, és egyszerűsített szakirodalmi vizsgálati módszerek egymáshoz való viszonyait, egymásra épülő logikai kapcsolódási pontjaikat és ezeket folyamatábrán mutattam be. A vizsgálatok tárgya kiinduláskor a valós rendszer, mely az előkészítő vizsgálatokat követően a hidraulikailag egyenértékű sematizált rendszerrel kerül helyettesítésre. A további kutatásnak két fő iránya: A) a part oldali hidraulikai vizsgálatok: ezekkel a termelőút kiörüli, part menti hidraulikus depresszió számítási módszere pontosítható; B) a meder oldali hidraulikai vizsgálatok: ezekkel a mederközvetítő réteg hidraulikai ellenállása ( $c_c [d]$ ), szivárgási tényezője ( $K_0 [m/d]$ ), valamint az aktív mederfelület nagysága ( $A [m^2]$ ) és a folyamatban résztvevő vízhozamkomponensek ( $Q=Q_F+Q_M+Q_P$ ) arányai adhatók meg (ahol:  $Q$ : teljes kitermelt vízhozam [ $m^3/d$ ],  $Q_F$ : folyóból származó vízhozam

- 
- [m<sup>3</sup>/d], Q<sub>M</sub>: meder alatti vízádóból származó vízhozam [m<sup>3</sup>/d], Q<sub>P</sub>: háttérből, a felszín közeli vízádóból származó vízhozam [m<sup>3</sup>/d]).
4. A saját fejlesztésű kutatási eljárásokra rendszerértékelő szakkifejezéseket vezettem be, a már meglévő kifejezésekkel együtt egységes fogalomrendszert alakítottam ki és ezeket külön szöszedetben közöltem.
  5. Meghatároztam a PS víztermelő kút által a meder alatti vízádóban előidézett hidraulikus depresszió mértékét, vízzel telített folyómederben kiképzett ideiglenes mederszondák mérési adatain nyugvó számításokkal. A meder alatti hidraulikus depresszió jellemző adatait, egzakt kifejezésekkel a kitüntetett szelvényben adom meg, melyek a: A) PS kút meder alatti valós (hidraulikailag hatékony) távolhatásának (R<sub>H</sub> [m]) mértéke; B) valós vízszint-leszívás (s<sub>V</sub> [m]) mértéke a valós partél alatt; C) hidraulikus depressziós görbe egyenlete.
  6. Bevezettem a hatékony partélt, mint transzformációs rendszerelemet, mellyel a sematizált folyó közelítően tökéletes (felszín közeli vízádót függőleges – és ekkor már vízvezető tulajdonságú – mederfallal teljes vastagságában harántoló, de nem mederellenállás mentes) folyóvá képezhető le. Ez a transzformált partél típus alkalmas a meder oldali hidraulikai folyamatokra vonatkozó számítások egyszerűsített elvégzésére. A hatékony partél helyzetét a hatékony meder alatti távolhatás (R<sub>H</sub> [m]) értéke alapján, a valós partél (x<sub>0</sub> [m]) meder irányú, önmagával párhuzamosan történő eltolásával (ΔL<sub>H</sub> [m]) adtam meg: ΔL<sub>H</sub>=R<sub>H</sub>-x<sub>0</sub> [m].
  7. Meghatároztam az aktív hatékony partélszakasz (2y<sub>H</sub> [m]) hosszát. Ez az a transzformált partélszakasz, mellyel a folyó felől (folyóból) (Q<sub>F</sub> [m<sup>3</sup>/d]) és a meder alatti vízádóból (Q<sub>M</sub> [m<sup>3</sup>/d])) származó együttes (Q<sub>F+M</sub> [m<sup>3</sup>/d]) vízhozam megadható. Hosszát a PS termelőkút Dupuit-Thiem-módszerrel (Dupuit 1863, Thiem 1906) számított, háttérre kiterjedő távolhatása (R<sub>P</sub> [m]) által meghatározott kör és az R<sub>H</sub> [m] alapján megadott hatékony partél egyenesének metszéspontjai alapján adtam meg: 2y<sub>H</sub>=2√(R<sub>P</sub><sup>2</sup>-R<sub>H</sub><sup>2</sup>) [m].
  8. A teljes kitermelt vízhozam (Q [m<sup>3</sup>/d]), a meder alatti hatékony távolhatással (R<sub>H</sub> [m]) megadott hatékony partél helyzete, valamint az aktív hatékony partélszakasz félhosszáának (y<sub>H</sub> [m]) ismeretében, Bochever et al. (1979) nyomán pontosítva, a PS víztermelés során a folyó felől érkező összes

---

vízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) nagyságát a következő összefüggés szerint adtam

meg:  $Q^* = th \frac{\text{arc sinh}(0,85 y^*) + \sqrt{0,085 y^*}}{2}$  (ahol  $y^* = y_H/R_H$ ,  $Q^* = Q_{F+M}/Q$ ) és

ezzel  $Q_{F+M} = Q Q^*$  [m<sup>3</sup>/d].

9. A folyó felől érkező összes vízhozam ( $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d]) Völgyesi-féle mederkapcsolati hatásokkal,  $MH = \frac{s_L - s_V}{s_L} * 100$  [%] (Völgyesi 1993)

félkvantitatív módon szétválasztható a folyóból ( $Q_F$  [m<sup>3</sup>/d]) és a meder alatti vízádóból ( $Q_M$  [m<sup>3</sup>/d])) a PS termelőkhöz érkező vízhozamkomponensekre (ahol  $s_V$ : valós leszívás a valós partél alatt a kitüntetett szelvényben [m];  $s_L$ : látszólagos leszívás a valós partél alatt a kitüntetett szelvényben [m]);. MH [%] értéke Völgyesi (1993) nyomán eddig bizonytalanul volt megadható, továbbá  $Q_{F+M}$  [m<sup>3</sup>/d] sem volt ismert, ezért MH [%] egy becsült kapcsolati aránynak volt értékelhető.

Az MH [%] pontosított nagyságát a kitüntetett szelvényben a valós partélnél mederszonda adatokból számított valós vízszint-leszívás adattal ( $s_V$  [m]), valamint a háttértávolhatás ( $R_P$  [m]) során meghatározott depressziós görbe egyenletének  $x = -x_0$  [m] helyen felvett értékével ( $s_L$  [m]) adtam meg.

10. A  $Q$  [m<sup>3</sup>/d],  $Q_F$  [m<sup>3</sup>/d] és  $Q_M$  [m<sup>3</sup>/d] vízhozamkomponens-értékek ismeretében a PS víztermelő rendszerben lezajló vízkeveredést a következőképpen számítottam ki:  $Q = Q_F + Q_M + Q_P$  [m<sup>3</sup>/d], [%] (ahol  $Q_P$  [m<sup>3</sup>/d], [%]: háttérből származó vízhozamkomponens a többi ismert adat alapján kerül kifejezésre).
11. A PS kút víztermelése nyomán, a meder alatt egy ún. látszólagos (nem valós) távolhatás is mérhető. A látszólagos meder alatti távolhatás ( $R_L$  [m]) mértékét a kitüntetett szelvényben, a PS termelőkhöz és a valós partél ( $x_0$  [m]) között kialakított potenciométerek mérési adatain nyugvó számításokkal határoztam meg.
12. Bevezettem a látszólagos partél fogalmát, mint második transzformációs rendszerelemet, amellyel a sematizált folyó szintén közelítően tökéletes, de a hatékony partétől eltérő helyzetű folyóvá képezhető le, a partoldalra vonatkozó hidraulikus depresszió-számítások érdekében. A látszólagos partél helyzetét a látszólagos meder alatti távolhatás ( $R_H$  [m]) értéke alapján,

a valós partél ( $x_0$  [m]) meder irányú, önmagával párhuzamosan történő eltolásával ( $\Delta L_L$  [m]) adtam meg:  $\Delta L_L = R_L - x_0$  [m].

13. Meghatároztam a PS víztermelő kút part menti régióban kialakuló hidraulikus depressziós terének megbízható számítási módszerét hatféle megoldás azonos adatokkal történő tesztelésével. Ezek értékelése alapján a legalkalmasabb kifejezés a probléma meghatározására a fedett víztartók permanens víztermelését leíró Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) megoldáson alapuló ún. forrás-nyelő módszer (Forchheimer 1935, Dietz 1943), Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) által a mederellenállást ( $R_1$ ) is figyelembe vevő megoldása, az újonnan bevezetett

látszólagos partél alkalmazása mellett:  $s = \frac{Q}{2\pi Kb} \left( \ln \frac{\rho}{r} + R_1 \right)$ , ahol: s: maximális

eredő leszívás nagysága egy vizsgált, a PS termelőkút távolhatása alá eső part oldali ponton [m]; Q: víztermelő kút hozama [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]; K: felszín közeli vízáadó szivárgási tényezője [m/d]; b: felszín közeli vízáadó vastagsága [m];  $\rho$ : a vizsgált pont folyót helyettesítő, látszólagos kúttól való távolsága [m] (látszólagos partéllal megadott szimmetriatengely szerint); r: ugyanazon pont távolsága a termelőkúttól [m].

A képletben a megoldani kívánt s-en kívül a mederellenállás hatását összegző  $R_1$  paraméter értéke sem ismert. Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979)  $R_1$ -re közölt összetett matematikai megoldása helyett,  $R_1$ -re a valós partélre vonatkozóan egyszerűsített kifejezést vezettem be az alábbiak szerint fejezem ki:  $R_1 = s_v \frac{2\pi Kb}{Q} [-]$  (komponensek jelentését lásd az

előzőekben).  $R_1$  valós partélre meghatározott értékéből Bochever (1968) és Bochever et al. (1978, 1979) nyomán a mederellenállásra közvetlenül jellemző rendszerállandó ( $\alpha$  [ $1/\text{m}$ ]) értékét az alábbiak szerint adtam meg:

$R_1 = -2e^{\alpha x_0} Ei(-\alpha x_0) [-]$  és ebből  $\alpha = \frac{x_0}{x_0} [-/\text{m}]$  (ahol:  $x_0$  az  $R_1$  függvénykapcsolat

nyomán kifejezett tényező [-];  $x_0$ : valós partél távolsága a PS termelőkúttól [m];  $\alpha$ : mederközvetítő rétegre jellemző mutató, mely Bochever et al. (1978,

1979) nyomán:  $\alpha = \sqrt{\frac{K_0}{K_1 b_1 b_0}} [-/\text{m}]$ . Az  $\alpha$  mutató általam ismertetett egyszerű

kifejezése után bármely vizsgált x [m] pontra meghatároztam  $x^*$  értékét, az



$\chi = \alpha x$  kifejezés szerint. Az eljárással  $R_1$  értékét bármely vizsgált pontban aktuálisan és egyszerű módon meghatározhatóvá tettem, mellyel a part oldali vízszint-leszívásra ( $s$  [m]) vonatkozó egyenlet megadását egyszerűsítettem. Bochever et al. (1978) nyomán a megoldás  $y \neq 0$  esetén is alkalmazható.

14. Az  $\alpha$  mutató (Bochever et al. 1978, 1979) általam közölt egyszerű meghatározási módja nyomán, továbbá a meder alatti vízádóra előzetes kutatással meghatározott  $K_1$  [m/d] és  $b_1$  [m] értékeket ismeretében, a mederközvetítő féligáteresztő réteg hidraulikus ellenállását a következőképpen adtam meg:  $c_0 = b_0/K_0$  [d], Hantush (1956, 1960) nyomán.
15. A mederközvetítő réteg szivárgási tényezőjét ( $K_0$  [m/d]) szélsőértékei megadásával, a rá vonatkozó hidraulikus ellenállás ( $c_0$  [d]) bemutatott módon meghatározott értéke és a szakirodalomban rá vonatkozóan közölt, jellemző vastagsági szélsőértékek ( $b_0 = 0,1-1$  m) (Rákóczi 1997, Schubert 2003 és Rück 2007) segítségével, Hantush (1956, 1960) nyomán  $K_0 = b_0/c_0$  [m/d] formában adtam meg.

16. A felszíni víz beszivárgását a felszín alá közvetítő aktív mederfelület kiterjedését Darcy (1856), e problémára módosított képlete alapján  $\{(Q_F = -AK_0 \frac{dh_A}{dl} \text{ (ahol: } Q_F \text{: folyóból származó vízhozam [m}^3\text{/d]; } A \text{: szivárgási felület [m}^2\text{]; } K_0 \text{: mederközvetítő réteg szivárgási tényezője [m/d]; } dh_A \text{: átlagos hidraulikus potenciálesés [m]; } dl \text{: potenciálesés vonatkoztatási távolsága [m])}\}$  a következő kifejezéssel adtam meg:  $A = -\frac{Q_F}{dh_A} c_0$ , a  $dh_A$  [m]

viszonyítási távolságára vonatkozó, általam rögzített  $dl = b_0$  [m] megkötés mellett. A megkötést a felszíni víz és a meder alatti vízádó vízének eltérő, de rendszerenként azonos hidraulikus potenciálállapota alapján tettem meg, mivel ezek alapján a két víztípus közötti hidraulikus potenciálesés a mederközvetítő rétegben, az annak vastagságával ( $b_0$  [m]) kifejezhető szakaszon játszódik le.

A  $dh_A$  [m] értékét a valós ( $x_0$  [m]) és látszólagos ( $R_L$  [m]) partél helyzete, valamint a meder alatti hidraulikus depressziós görbe egyenlete ismeretében, integráláson alapuló területszámítási módszerrel határoztam meg.

---

## 8.2 MUNKA JELENTŐSÉGE, EREDMÉNYEK ALKALMAZHATÓSÁGA

A kutatási eredmények legfőbb tudományos jelentősége az a megközelítés, amely 1) egységes keretbe foglalja a korábban csak egyes paraméterek meghatározásaira szolgáló összefüggéseket és 2) bizonyos pontokon továbbfejleszti azokat. Ezáltal tudományosan megalapozott keretrendszert kínál a PS rendszerek egységes és összehasonlítható vizsgálatához

A kutatás eredményei a gyakorlat számára közvetlenül hasznosíthatók:

- alapot nyújthatnak egy adott jövőbeni PS víztermelő telep megvalósíthatóságai és üzemeltetési tervének elkészítéséhez;
- működő PS vízműtelepek esetén üzemelési esettervek készíthetők egy-egy kút termelésből való váratlan (szennyezés), vagy tervezett (karbantartás) kiválására, a szükséges vízmennyiség többi kútból, megfelelő arányban történő biztonságos pótlására.

bemenő és kalibrációs adatként használhatók egy PS víztermelő rendszert vizsgáló 3D numerikus hidraulikai modellhez.

## 8.3 TOVÁBBLÉPÉSRE TETT JAVASLATOK

A bemutatott egységes kutatási megközelítés ellenőrzésére, fejlesztésére tett javaslataimat az alábbiakban foglalom össze.

- Javaslom a vízkeveredési arány meghatározásánál a dolgozatban pontosítva alkalmazott, tapasztalati, illetve félkvantitatív módszerek (Bochever et al. 1979, Völgyesi 1993) több mintaterületen való tesztelését, alkalmazásuk biztonsági fokának növelése érdekében.
- Javaslom Bochever et al. (1979) és Völgyesi (1993) vízkeveredésnél alkalmazott, pontosított módszereinek kvantitatív elemzését, egzakt hidraulikai hátterük meghatározása érdekében.
- Javaslom a termelőkútból kitermelt víz hidraulikai számítási módszerekkel kapott vízkeveredési eredményeinek ellenőrzését stabilizotópos adatokon nyugvó hidrogeokémiai számítások révén (Deák et al. 1992, Deák 1995, Deák et al. 1996, Fórizs 1998, Fórizs et al. 1999, Fórizs 2001). E vizsgálat előfeltétele, hogy a hidraulikai kutatási időszakot lefedő, hosszútávú stabilizotópos napi adatsor álljon rendelkezésre, egyéb (pl.:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ )

---

ionokkal kiegészítve, mely a folyót, egy partél közeli figyelőobjektumot, a termelőkutat és egy biztonsággal a hátteret jellemző figyelőobjektumot kell hogy érintsen.

- Javaslom a dolgozatban bevezetett látszólagos partél tesztelését további mintaterületeken a valós partél alkalmazásával összevetve a partoldali hidraulikus depresszió számításánál.
- Javaslom a kitüntetett szelvényvonaltól eltérő helyzetű mederszondák kialakítását is, a meder alatti hidraulikus depressziós felület kiterjedésének helyszíni mérésekkel történő nyomozása érdekében.

---

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ehelyütt szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik a dolgozat elkészítésében segítségét nyújtottak.

Mádné Dr. Szőnyi Juditnak köszönöm a munkám során témavezetőként nyújtott segítségét, hasznos tanácsait.

Gondár Károlynak és Gondárné Sőregi Katalinnak, a SMARAGD-GSH Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft. tulajdonosainak köszönöm a témaválasztás lehetőségét, az infrastrukturális háttér biztosítását, valamint, hogy lehetővé tették számomra a cég tulajdonát képező alapadatok kutatásom során történő felhasználását.

Prof. Tóth Józsefnek szakirodalmi ajánlásait köszönöm, amelyek nagyban segítettek néhány vitás kérdés tisztázásában.

Prof. Müller Imrének köszönöm a dolgozat előzetes értékelését és ennek kapcsán tett javító szándékú megjegyzéseit.

Köszönöm Dr. Benedek Kálmánnak szakmakritikai észrevételeit, technikai segítségét, valamint Dr. Völgyesi Istvánnak a konzultációs lehetőséget egy fontos matematikai részprobléma tárgyalása kapcsán.

Végezetül köszönöm Családom, Szüleim és Barátaim türelmét és belém vetett bizalmát.

---

## IRODALOMJEGYZÉK

- 127/1997 (VII. 18.) Kormányrendelet (1997): 127/1997 (VII. 18.) Kormányrendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátásirendszerek védelméről
1995. évi LVII törvény (1995): 1995. évi LVII törvény a vízgazdálkodásról
- 21/2002 (IV. 25.) KöViM (Közlekedési és Vízügyi Minisztérium) rendelet (2002): 21/2002 (IV. 25.) KöViM rendelet a víziközművek üzemeltetéséről
- Altnóder A., Csepregi A., Deák J., Halász B., László F., Liebe P., Simonffy Z. és Vargai Z. (1999): Az üzemelő, sérülékeny földtani környezetben lévő ivóvízbázisok biztonságba helyezésének módszertana és tartalmi követelményei. – Közlekedési Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Budapest pp. 182-190.
- Anton A. (2001): Távlati vízbázisok biztonságba helyezése érdekében végzett vizsgálatok véleményezése, Váli-víz torkolat távlati vízbázis. – Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest, 8 p.
- Aquarius Kft. (1993a): Távlati vízbázisok biztonságba helyezése, Beruházási programtervet megalapozó tanulmányterv, Vízbázis: 4.1.1. Váli-víz torkolat Állapotrögzítés V. (1993.). – Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Vízgazdálkodási Osztály, Székesfehérvár, 38 p.
- Aquarius Kft. (1997a): Távlati vízbázisok biztonságba helyezése, Beruházási programtervet megalapozó tanulmányterv, Vízbázis: 4.1.1. sz. Váli-víz torkolat Állapotrögzítés V. (1997.). – Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Vízgazdálkodási Osztály, Székesfehérvár, 24 p.
- Aquarius Kft. (1993b): Távlati vízbázisok biztonságba helyezése, Beruházási programtervet megalapozó tanulmányterv, Vízbázis: 6.3. sz. Fadd-Dombori-Bogyiszló vízbázis (1993.). – Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Vízgazdálkodási Osztály, Székesfehérvár, 24 p.
- Aquarius Kft. (1997b): Távlati vízbázisok biztonságba helyezése, Zárójelentés az 1996-97. évi munkáról, 6.3. sz. Fadd-Dombori-Bogyiszló vízbázis. – Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Vízgazdálkodási Osztály, Székesfehérvár 31 p.
- Aujeszký G. (1985): Felszínközeli vízáradó megcsapoló vízkivétel méretezési szempontjai. – Hidrológiai Közlemény 65/4, pp. 203-210.

- 
- Balassa G., Gondár K., Gondárné Sőregi K., Horváth A. és Pethő S. (2003): Partiszűrészű ivóvízbázisok diagnosztikájának tapasztalatai. – X. Felszín alatti vizek konferenciája, Jubileumi kötet, Balatonfüred-Budapest, pp. 1-14.
- Bochever F. M. (1968): Raszcsetű ekszpluatacionnűh zapaszov podzemnűh vod. (orosz) – NERDA, Moszkva, 325 p.
- Bochever F. M., Lapshin N. N. és Khokhlatov E. M. (1978): Calculs hydrogéologiques des puits suités à proximité des rivières. (francia) – Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, deuxième série, section III, 1-1978, Paris, pp. 11-20.
- Bochever F. M., Lapshin N. N. és Oradovszkaja A. E. (1979): Zascsitá podzemnűh vod ot zagraznyenyija. (orosz) – NERDA, Moszkva, 255 p.
- Boldizsár T. (1974): Vízbányászat. – Egyetemi jegyzet, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 204. p.
- Boulton N. S. (1963): Analysis of data from non-equilibrium pumping test allowing for delayed yield from storage. – Proc. Inst. Civ. Eng. 26, pp. 469-482.
- Boulton N. S. (1964): Analysis of data from non-equilibrium pumping test allowing for delayed yield from storage: a discussion. – Proc. Inst. Civ. Eng. 28, pp. 603-610.
- Btix Bt. (2001): Jelentés a Váli-víz torkolat térségében végzett geofizikai kutatás eredményeiről. – Kutatási jelentés, Budapest, 6 p.
- Bulkai J. (1981): Parti szűrészű vízbázisok problémája. – VITUKI Közlemények 30, pp. 65-77.
- Csernyánszky L. és Várszegi Cs. (1993): A Fővárosi Vízművek partiszűrészű rendszerének kialakítása, üzemeltetése. – Hidrológiai Közlöny 73/3, pp. 133-138.
- Cséry P. (1993): 125 éves a Fővárosi Vízművek. – Hidrológiai Közlöny 73/3, pp. 129-131.
- Darcy H. (1856): Les fontaines publiques de la ville de Dijon. (francia) – Victor Dalmont, Paris, 647 p.
- Deák J., Hertelendi E., Süveges M. és Barkóczy Zs. (1992): Partiszűrészű kutak vizének eredete trícium koncentrációjuk és oxigén izotóparányaik felhasználásával. – Hidrológiai Közlöny 72/4, pp. 204-210.
- Deák J. (1995): A felszín alatti vizek utánpótlódásának meghatározása izotópos módszerekkel az Alföldön. – VITUKI Zárójelentés, Budapest
-

- 
- Deák J., Deseő É., Böhlke J. K.. és Révész K. (1996) Isotope hydrology studies in the Szigetköz region, northwest Hungary. – *Isotopes in Water Resources Management* vol I., IAEA, Vienna, pp. 419-430.
- Dietz D. N. (1943): De toepassin van invloedsfuncties bij het berekenen van de verlaging van het groundwater tengevolge van wateronttrekking. (holland) – *Water* 27/6, pp. 51-54.
- Driscoll F. G. (1986): *Grounwater and Wells*. – *Well Hydraulics.*, Johnson Division, St. Paul, Minnesota 55112, USA, 213 p.
- Dupuit J. (1863): *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables*. (francia) – 2eme édition, Dunot, Paris, 304 p.
- Fetter C. W. (1994): *Applied hydrogeology*, Third edition. – University of Visconsin, Oshkosh, Visconsin, USA, 691 p.
- Forchheimer F. (1935): *Hidraulika*. (orosz) – ONTI, Szovjetunió.
- Fórizs I. (1998): Isotopic and chemical characteristics of mixing and evolving groundwaters in Hungary. *RMZ. – Materials and Geoenvironment*, 45/1-2, pp. 42-47.
- Fórizs I., Berecz T., Deák J. (1999): Origin and quality of bank filtered groundwater near Budapest: an evaluation of isotope data. – In: *Isotope Techniques in Water Resources Development and Management*. *Proceedings of a Symposium*, Vienna, 10-14 May, 1999, CD-ROM, pp. 1-8.
- Fórizs I. (2001): A parti szűrésű vízbázisoknál kitermelt ivóvíz származásának meghatározása. – *Kutatási jelentés*. Készült az MTA FKK Geokémiai Kutatólaboratóriumban a Fővárosi Vízművek számára, Budapest
- Fővárosi Vízművek Zrt. (Budapest Székesfőváros Vízművei) (1918): *Vízföldtani szelvény az Újlaki Vízmű I. sz. gyűjtőkútján keresztül a Dunára merőleges szelvényben*. – Kézirat, Fővárosi Vízművek Zrt., Budapest
- Fővárosi Vízművek Zrt. (Budapest Székesfőváros Vízművei) (1931): *Vízföldtani szelvény Újlakon a „B”, „C” és „D” kutaknál a Dunára merőleges szelvényben*. – Kézirat, Fővárosi Vízművek Zrt., Budapest
- Fővárosi Vízművek Zrt. (2008): Fővárosi Vízművek Zrt. honlapja  
<http://www.vizmuvek.hu>
- Fővárosi Vízművek Zrt. kézirat: Évszámhoz és dokumentációhoz nem köthető kézirat, cím nélküli

- 
- Freeze R. A. és Cherry J. A. (1979): Groundwater. – Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 604 p.
- Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat (FTV) (1989): Vízkutatás a Duna jobb partján, Fadd-Dombori-Bogyiszló térségében. –in: KDT KÖVIZIG 2000b.
- Geomega Kft. (2001a): Nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvényezés a Dunán, a Váli-víz torkolata környezetében. – Kutatási jelentés, Budapest, 9 p.
- Geomega Kft. (2001b): Geoelektromos mérések Fadd-Dombori-Bogyiszló ivóvízbázisának területén. – Kutatási jelentés, Budapest, 14 p.
- Geomega Kft. (2001c): A Duna 1502,4-1503,4 és 1504,8-1506,3 fkm szakaszán végzett nagy felbontású vízi szeizmikus szelvényezés. – Kutatási jelentés, Budapest, 15 p.
- Gölz E., Schubert J. és Liebich D. (1991): Sohlenkolmation und Uferfiltration im Bereich des Wasserwerks Flehe (Düsseldorf). (német) – Gas- und Wasserfach 132/2, pp. 69-76.
- Gyalog L. (szerk.) (1996): A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egyégek rövid leírása. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 171 p.
- Hantush, M. S. (1956): Analysis of data from pumping test in leaky aquifers. – Am. Geophys. Union Trans. 37, pp. 702-714.
- Hantush M. S. (1959): Analysis of data from pumping wells near river. – Journ. Geophys. Res. 64, pp. 1921-1932.
- Hantush, M. S. (1960): Modification of the theory of the leaky aquifers. – Journ. Geophys. Res. 65, pp. 3713-3725.
- Hantush M. S. (1965): Wells near streams with semi-pervious beds. – Journ. Geophys. Res. 70, pp. 2829-2838.
- Hantus M. S. (1966): Pompage d'essai dans un puit á proximité d'une rivière colmatée. (francia) – Bulletin de BRGM, Sect. III, 3/4.
- Hock B. (1981): Gabčíkovo-Nagymarosi vízlépcsőrendszer hatása a parti szűrési kutak víminőségére. – VITUKI Közlemények, 30, pp. 80-83.
- Hubbert M. K. (1940): The theory of the groundwater motion. – Journ. Geol. 48, pp. 785-944.
- Hubbs S., Ball K., Haas D. L. és Robison M. J. (2003): Riverbank filtration construction options considered at Louisville. Kentucky. – in: (Eds.) Ray C., Melin G. és Linsky B.R. (2003), Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 49-59.
-



- 
- Hunt H. (2003): American experience in installing horizontal collector wells. – in: (Eds.) Ray C., Melin G. és Linsky B.R. (2003), Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 29-34.
- Hunt H., Schubert J. és Ray C. (2003a): Conceptual design of riverbank filtration systems. – in: (Eds.) Ray C., Melin G. és Linsky B.R. (2003), Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 19-27.
- Hunt H., Schubert J. és Ray C. (2003b): Operation and maintenance considerations. – in: (Eds.) Ray C., Melin G. és Linsky B.R. (2003), Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 61-70.
- Jacob C. E. (1963): Correction of drawdowns caused by pumped well tapping less than the full thickness of an aquifer. – In: Bentall R. (editor): Methods of determining permeability, transmissibility and drawdown. U. S. Geol. Survey, Water-Supply Paper 1536-I, pp. 272-282.
- Jámbor Á. és Korpásné Hódi M. (1996): II. A rétegtani egységek rövid leírása, II.b A negyedidőszaknál idősebb képződmények képződmények (pannóniai). – in: (szerk.) Gyalog L. (1996): A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása, Magyar állami Földtani Intézet, Budapest, 171 p.
- Juhász J. (1987): Hidrogeológia. – Akadémia Kiadó, Budapest, 972 p.
- Jókai M. (1854): Kárpáthy Zoltán. – Pesti Napló.
- Kaiser M. és Gyalog L. (1996): II. A rétegtani egységek rövid leírása, II.a A negyedidőszaki képződmények. – in: (szerk.) Gyalog L. (1996): A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása, Magyar állami Földtani Intézet, Budapest, 171 p.
- Kazmann R. G. (1946): Notes on determining the effective distance to a line of recharge. – Transactions of the American Geophysical Union 27, pp. 854-859.
- Kazmann R. G. (1948a): The induced infiltration of river water to wells. – Transactions of the 1948 of the American Geophysical Union 29/1, pp. 85-99.
- Kazmann R. G. (1948b): River infiltration as a source of ground water supply. – American Society of Civil Engineers 2339, pp. 404-424.
- KDT KÖVIZIG, Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (2000a): Távlati vízbázisok biztonságba helyezése, Diagnosztikai fázis végrehajtása a Váli-víz torkolat távlati vízbázis területén, Ajánlatkérési dokumentáció. – Kézirat, Székesfehérvár, 12 p.

- 
- KDT KÖVIZIG, Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (2000b):  
Távlati vízbázisok biztonságba helyezése, Diagnosztikai fázis végrehajtása a  
Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis területén, Ajánlatkérési dokumentáció.  
– Kézirat, Székesfehérvár. 12 p.
- Kemény A., Mayer I. és Péter P. (szerk.) (2005): Vízrajzi Évkönyv 2002. –  
Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. (VITUKI Kht.)  
Vízgazdálkodási Igazgatóság, CVII, Budapest, 314 p.
- KHVM, Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium (1999): A sérülékeny földtani  
környezetben lévő távlati ivóvízbázisok biztonságba helyezésének módszertana  
és tartalmi követelményei. – Kézirat, Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi  
Minisztérium, Budapest, 20 p.
- Király L. (1994): Groundwater flow in fractured rocks: models & reality. – Proceedings  
of the 14. MINTROP-Seminar Ueber Interpretations-Strategien in Exploration  
und Produktion, DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft fUEr Erdöl,  
Erdgas und Kohle & Unkontakt - Kontaktstelle Universitaet/Wissenschaft der  
Ruhr-Universitaet Bochum 159, pp. 1-21.
- Klaer F. H. (1953): Providing large industrial water supplies by induced infiltration. –  
Reprinted from Mining Engineering 1953 June in: Ranney Method Water  
Supplies Inc. Technical Report 5, Columbus, Ohio, USA, pp. 2-7.
- Kontúr Á. (1984): Eljárás és berendezés folyó- vagy állóvíz medre alatti porózus  
anyagban uralkodó folyadéknyomás meghatározására. – Szabadalmi leírás,  
Országos Találmányi Hivatal, Budapest, lajstromszám: 187530.
- Kontúr Á. (1993): Partiszűrészű vízbeszerzés a Fővárosi Vízműveknél. – Hidrológiai  
Közlöny 73/3, pp. 139-141.
- Kovács Gy. (1966): Hidraulika. – Felsőfokú oktatási jegyzet, VITUKI Vízügyi Műszaki  
Tájékoztató Iroda, Budapest, 317 p.
- Kovács Gy. (1972): A szivárgás hidraulikája. – Akadémia Kiadó, Budapest, 538 p.
- Kruseman G. P. és De Ridder N. A. (1983): Analysis and evaluation of pumping test  
data. – International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI,  
Wageningen, Hollandia, 200 p.
- Léczfalvy S. (1980): Folyók medre alól kiszivárgó vízmennyiség számítása rétegzett  
altalaj esetén. – Hidrológiai Közlöny 60/5, pp. 209-212.
- Léczfalvy S. (2004): Felszín alatti vizeink. – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 819 p.
-

- 
- László F. (1981): Dunai vízminőség-elemzések eredményei. – VITUKI Közlemények 30, pp. 78-79.
- Liebe P. (2002): Tájékoztató, Felszín alatti vizeink. – Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest, 56 p.
- Mádlné Szőnyi J., Simon Sz., Tóth J. és Pogácsás Gy. (2005): Felszíni és felszín alatti vizek kapcsolata a Duna-Tisza-közi Kelemen-szék és Kolon-tó esetébe. – Általános Földtani Szemle 30, pp. 25-40.
- Major P. (1979): Víztermelés hatása a talajvízháztartásra. – Magyar Hidrológiai Társaság Országos Vándorgyűlése, II. B. 15, Keszthely, pp. 1-15.
- Mélyépterv (1986): Vízkutatás a Duna jobb partján, Váli-víz torkolat térségében. – in: KDT KÖVIZIG 2000a.
- Mikels F. C. és F. H. Klaer Jr. (1956): Application of ground water hydraulics to the development of water supplies by induced infiltration. – Reprinted from: Extrait de la publication no. 41 de l'association internationale d'hydrologie (de l'U.G.G.F.). Symposia Darcy, Dijon, September 1956, in: Ranney Method Water Supplies Inc. Technical Report 7, Columbus, Ohio, USA, pp. 232-242.
- Molnár Z. (2000): A parti szűrészű víztermelés vizsgálata. – Hidrológiai Közöny 80/4, pp. 215-228.
- Országos Meteorológiai Szolgálat (1991): Csapadékmérő állomások havi és évi csapadékmennyisége. – in: Kemény A., Mayer I. és Péter P. (szerk.) (2005): VITUKI Kht., Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. (2005): Vízrajzi Évkönyv 2002. – Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. Vízgazdálkodási Igazgatóság, Budapest, 314 p.
- Paturi F. R., Brocks M., Matthes M., Uhlmannsiek B., Schramm M. és Voges C. (1991): A technika krónikája (Chronik der Technik). – Officina Nova Könyv- és Lapkiadó Kft., Budapest, 671 p.
- Pethő S., Mádlné Szőnyi J. és Tóth J. (2004): A Kisalföldi-medence regionális felszín alatti vízáramlási képe hidraulikai adatfeldolgozás alapján. – Földtani kutatás XLI/2, pp. 13-20.
- Pethő S., Ács V., Gondárné Sőregi K., Gondár K., Kun É., Svasta J. és Tóth Gy. (2008 (in press)): The function of the numerical hydraulic modelling in the case of the determination of the environmental status of transboundary groundwater bodies. (Numerikus hidraulikai modellezés szerepe a határ menti közös felszín alatti víztestek környezetállapotának és fenntartatható használatának

- 
- meghatározásában). – Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2007, Budapest.
- Rákóczy L. (1997): A folyómeder kolmatálódásra hajlamos részeinek lehatárolása a mederanyag elemzése alapján. – Vízügyi Közlemények 79/3, pp. 394-400.
- Ray C., Melin G. és Linsky B. R. (Eds.) (2003): Riverbank filtration. – Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, 366 p.
- Ray C., Schubert J., Linsky B. R. és Melin G. (2003): Introduction. – in: (Eds.) Ray C., Melin G. és Linsky B.R. (2003), Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 1-15.
- Rorabaugh M. I. (1948): Discussion, The induced infiltration of river water to wells. – Transactions of the 1948 of the American Geophysical Union 29/1, pp. 89-92.
- Rorabaugh M. I. (1951): Stream-bed percolation in development of water supplies. – Union Géodésique et Géophysique, Association Internationale d'Hydrology Scientifique, Assemblée Générale de Bruxelles, Extrait du Tome II., pp. 164-174.
- Rózsa A. (2000): Beszívárgás vizsgálatok a Szentendrei-Duna medrében. – Hidrológiai Közöny 80/2, pp. 119-125.
- Rück I. (2007): Parti szűrés, vagy meder szűrés. – Magyar Hidrológiai Társulat, előadás
- Schubert J. (2003): German experience with riverbank filtration system. – in: (Eds.) Ray C., Melin G. és Linsky B.R. (2003), Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 35-48.
- SMARAGD-GSH Kft. (2000): DMRV Rt. Leányfalui vízbázis összefoglaló jelentés II. kötet; Biztonságba helyezési terv. - Kutatási jelentés, Budapest, 136 p.
- SMARAGD-GSH Kft. (2002a): Váli-víz torkolat távlati vízbázis összefoglaló jelentés, Állapotértékelés, Biztonságba helyezési terv. – Kutatási jelentés, Budapest, 188 p.
- SMARAGD-GSH Kft. (2002b): Fadd-Dombori-Bogyiszló távlati vízbázis összefoglaló jelentés, Állapotértékelés, Biztonságba helyezési terv. – Kutatási jelentés, Budapest, 149 p.
- Somogyi S., Ambrózy P., Ádám L., Galambos J., Juhász Á., Kozma F., Marosi S., Mezősi G., Rajkai K. és Szilárd J. (1990): Magyarország kistájainak katasztere. – Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest, 1023 p.
-

- 
- Süveges M. és Liebe P. (1989): Tríciumos vízkormeghatározás Fadd-Dombori térségében, 1988-1989. – Kézirat, VITUKI Irattár, Budapest.
- Székely F. (1981): Partiszűrészű kutak szivárgáshidraulikai, védőterületi és víminőségi méretezése. – VITUKI Közlemények 30, pp. 85-95.
- Theis C. V. (1935): The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. – Am. Geophys. Union Trans.16, pp. 516-524.
- Thiem A. (1870): Die Ergiebigkeit artesischer Bohrlöcher, Schachtbrunnen und Filtergallerien. (német) – Journal für Gasbeleuchtung und Wasserverorgung 14, pp. 450-567.
- Thiem G. (1906): Hydrologische Methoden. (német) – Gebhardt, Leipzig, 56 p.
- Tóth Gy. (1986): Magyarország talajvízforgalmi térképe. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Tóth J. (1963): Theoretical analysis of ground water flow in small drainage basin. – Geophysical Research 68/16, pp. 4795-4812.
- United States Geological Survey (USGS) (Anonym, 2000): Tools for riverbank infiltration studies. Determining the hydraulic gradient on the river side of the well. – Power point presentation  
[http://ky.water.usgs.gov/hydro\\_ws/wrkshp\\_ppt/usgs\\_wrkshp2.pdf](http://ky.water.usgs.gov/hydro_ws/wrkshp_ppt/usgs_wrkshp2.pdf)
- Vágás I. és Varga L. (2004): Lectori megjegyzés. – in: Léczfalvy (2004), ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 23 p.
- Verstraeten I. M., Heberer T. and Scheytt T. (2003): Occurrence, characteristics, transport, and fate of pesticides, pharmaceuticals, industrial products, and personal care products at riverbank filtration sites. – in: (Eds.) Ray C., Melin G. és Linsky B.R. (2003), Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 175-227.
- VITUKI Rt., (Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. jogelődje) (1995): Magyarország vízkészleteinek állapotértékelése 3. – VITUKI Kiadvány, Budapest.
- VITUKI Rt., (Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. jogelődje) (VITUKI Rt.) (1997): Magyarország vízkészleteinek állapotértékelése 3. – VITUKI Kiadvány, Budapest.
- Vízmulap (2008): Vízügyi információs honlap  
<http://vizmu.lap.hu>

- 
- Völgyesi I. (1993): Mederkapcsolati hatások: a parti szűrész víztermelés fontos paramétere. – Hidrológiai Közlöny 73/5, pp. 261-264.
- Völgyesi I. (2005): Mennyit termelhetünk a felszín alatti vízkészletekből? – Hidrológiai Közlöny 85/5, pp. 20-24.
- Völgyesi I. (2008): Szóbeli közlés
- Waterloo Hydrogeologic, Inc. (2001): Aquifertest v3.01., Graphical Analysis and Reporting of Pumping Test and Slug Test Data. – Szoftver, Waterloo Hydrogeologic, Inc., Waterloo, Ontario, Canada.
- Wang W. és Zhang G. (2007): Numerical simulation of groundwater flowing to horizontal seepage wells under the river. – Hydrogeology Journal 15, pp. 1211-1220.
- Wein J. (1883): Budapest Főváros nyilvános vízművei. – Pesti Könyvnyomda Rt., Budapest, 50 p.
- Wu Y., Hui L., Wang, H. és Li Y. (2006): Effectiveness of riverbank filtration of removal nitrogen from heavily polluted rivers: a case study of Kuihu River, Xuzhou, Jiangsu, China. – Environ. Geol. 52, pp. 19-25.
- Zamarin I. A. (1954): Projektirovanyije gidrotechnicseszkijh szooruzsenyij. (orosz) – Moszkva, in: Juhász (1987).
- Zima K. (1988): Prognoza mnoztvi a jakosti podzemnüh vody jimané v blizkosti leky. (orosz) – Vodni hospodástvi 2., rada B., Szovjetunió.

---

## FOLYÓK MENTI PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELŐ RENDSZEREK ELEMELI – MAGYARÁZÓ SZÓSZEDET

A folyók menti parti szűrészű (PS) víztermelési rendszerek elemeinek magyarázó szószedete a – hivatkozott tételek alapmeghatározásaitól eltekintve – a Jelölt szellemi terméke.

*Aktív hatékony partélszakasz:* hatékony partél PS szempontjából hidraulikailag aktív szakasza; az ezen a partélszakaszon a hidraulikailag közelítően tökéletes folyóból belépő vízmennyiség egyenlő a valós rendszer folyó felőli oldalról származó összes vízmennyiségével.

*Aktív mederfelület:* PS víztermelés hatására a felszín alá belépő felszíni eredetű víz közvetítésében szerepet játszó mederfelület.

*Hatékony partél:* másodlagos partélfajta, meghatározása a meder oldali hidraulikai folyamatok vizsgálatához szükséges; egyes kutatási módszereknél a vizsgált rendszer  $y$  koordináta-tengelye ( $y_H$ ).

*Hatékony rendszer:* hatékony partéllal meghatározott PS rendszer. A  $\sim$  esetén a folyó a felszín közeli vízadót teljes vastagságban, függőleges mederfallal harántolja.

*Háttér irányába kialakuló távolhatás ( $R_P$ ):* PS kút valós, háttér irányába kialakuló távolhatása, mely permanens hidraulikai rendszerben, elméleti megfontolások alapján a kút teljes part menti környezetére érvényes; a vonatkoztatási rendszer origója ekkor a PS víztermelő kút, és az  $x$ ,  $y$  koordináta-tengelyek párhuzamosak a valós rendszer tengelyeivel.

A partoldalon a tápterület határa egy körív, melynek középpontja a termelőkút, sugara a kút adott vízhozamához tartozó háttértávolhatás mértékével megadott, végpontjai a körnek a valós partéllal alkotott metszéspontjai (Juhász 1987 nyomán Jelölt szerint).

*Hidraulikailag ideálisan tökéletes rendszer:* másodlagos partéllal leképezett, mederellenállás-mentes folyót tartalmazó rendszer (nem létezik).

*Kitüntetett szelvény:* PS termelőkúton áthaladó, partéltre merőleges szelvény; a vizsgált rendszerek  $x$  koordináta-tengelye.

---

*Közelítően tökéletes folyó:* olyan transzformált folyó, mely – a mederellenállást kivéve – a valós folyóval hidraulikai szempontból egyenértékű és melynek medre a felszín közeli vízádót teljes vastagságában függőlegesen harántolja.  $A \sim$  helyzete másodlagos partéllal kerül meghatározásra.

*Közelítően tökéletes rendszer:* olyan geometriailag transzformált sematikus rendszer, melyben a valós folyót közelítően tökéletes folyó helyettesíti.

*Látszólagos kút:* folyó típusú hidraulikai peremet helyettesítő képzetes kút, mely látszólagos, a valós kúttal azonos nagyságú, de ellentétes előjelű vízhozammal rendelkezik, azaz látszólagosan vizet táplál be a felszín közeli vízádóba.

*Látszólagos leszívás:* folyó típusú perem nélkül, Dupuit-Thiem-féle (Dupuit 1863, Thiem 1906) módszer alapján számított leszívás a parti szűrésű rendszerben; speciális értéke ( $s_L$  [m]) a kitüntetett szelvény valós partéllal alkotott metszéspontjában kerül kiszámításra.

*Látszólagos partél:* másodlagos partélfajta, meghatározása a partoldali hidraulikai folyamatok vizsgálatához szükséges; egyes kutatási módszereknél a vizsgált rendszer  $y$  koordináta-tengelye ( $y_L$ ).

*Látszólagos rendszer:* látszólagos partéllal meghatározott PS rendszer.  $A \sim$  esetén a folyó a felszín közeli vízádót teljes vastagságban, függőleges mederfallal harántolja.

*Másodlagos partél:* PS rendszer közelítően tökéletes leképezésére szolgáló partéltípus, melynek helyzete eltér a valós partél helyzetétől és amely a valós partél folyó irányába történő bizonyos mértékű önmagával párhuzamos eltolásával határozható meg; fajtái a hatékony-, látszólagos partél.

*Meder alatti hatékony távolhatás ( $R_H$ ):* PS kút valós meder alatti távolhatása, mely a felszíni víztest közvetlen betápláló hatását is tükrözi; a vonatkoztatási rendszer origója ekkor a PS víztermelő kút, és az  $x$ ,  $y$  koordináta-tengelyek párhuzamosak a valós rendszer tengelyeivel.

*Meder alatti látszólagos távolhatás ( $R_L$ ):* PS kút látszólagos meder alatti távolhatása, mely a felszíni víztest közvetlen betápláló hatását nem tükrözi; a vonatkoztatási rendszer origója ekkor a PS víztermelő kút, és az  $x$ ,  $y$  koordináta-tengelyek párhuzamosak a valós rendszer tengelyeivel.

*Mederközvetítő réteg:* folyók mederfenekén mesterséges és/vagy természetes hatásra kialakuló, átlagosan 0,1-1 m vastag rossz vízvezető képességű réteg.

---



---

*Partél:* a vízzel telített meder part menti határvonala a valós, a sematikusan leképezett, a hatékony, vagy a látszólagos rendszerben rendszerben; fajtái: valós-, hatékony, látszólagos partél.

*Sematikusan leképezett (sematizált) parti szűrészű (PS) rendszer:* a valós rendszer fő tulajdonságait hordozó, azzal hidraulikailag egyenértékű, de geometriáját, hidraulikus paramétermezőjét és hidraulikus potenciálterét tekintve egyszerűsített rendszer (Dupuit 1863, Thiem, Tóth 1963, Kovács 1972 és Király 1994 nyomán).

A folyómeder geometriai és hidraulikai tulajdonságai ~ esetén a következők: vízzáró, függőleges mederfal; átlagértékkel megadott egyenletes folyómélység; konstans szivárgási tényezővel és vastagsággal jellemzett mederközvetítő réteg; konstans szivárgási tényezővel és vastagsággal jellemzett meder alatti vízáradó; folyóból a felszín alá történő vízbelépés – a folyó és a meder alatti vízáradó hidraulikus potenciálkülönbsége hatására – a mederközvetítő rétegen keresztül, függőleges vízáramlással valósulhat meg; a mederközvetítő rétegben a felszín alatti vízáramlás vízszintes.

A sematizált parti szűrészű rendszerben a Dupuit (1863) és Thiem (1906) által fedett víztartók permanens hidraulikai állapotának vizsgálatakor megadott feltételek az 1. pont módosítása mellett érvényesek:

1. A vízáradó fedett, vízszintes, de csak a féltér felé végtelen kiterjedésű. A PS termelőkút távolhatása által érintett területen belül a felszín közeli vízáradó egy darab, egyenes lefutású, állandó vízszintű utánpótlódási típusú határral (folyóval) áll kapcsolatban (Kruseman és De Ridder 1983).
2. A vízáradó homogén, izotróp és konstans vastagságú a szivattyúteszt által érintett területen.
3. A szivattyúzás megkezdése előtt a felszín alatti víz potenciometrikus felszíne (közel) vízszintes (és a folyó vízszintjével azonos szintű) a szivattyúteszt által érintett területen.
4. A szivattyúzás hozama állandó.
5. A szivattyúzott kút a felszín közeli vízáradót teljes vastagságában harántolja, és így azt felülnézetben radiális pályájú felszín alatti vízáramlás révén, szelvényben a teljes vízáradó-vastagságában párhuzamosan futó áramvonalakkal, egyenletesen csapolja meg.

---

6. A kúthoz történő vízáramlás permanens, azaz a kitermelt víz forrása nem a kút környezete, hanem – konstans hidraulikus emelkedési magasságú peremeken túl – a vízadó távolabbi részei.

*Thiem-féle inverz leszívási görbe:* látszólagos kút körüli inverz depressziós felszín kitüntetett szelvény síkjával alkotott metszete (Dupuit 1863, Thiem 1906 nyomán).

*Thiem-féle leszívási görbe:* permanens hidraulikai rendszerben víztermeléskor, folyóhatás nélkül kialakuló depressziós felület kitüntetett szelvény síkjával alkotott metszete (Dupuit 1863, Thiem 1906 nyomán).

*Tökéletes leszívási görbe:* hidraulikailag tökéletes folyó mentén víztermeléskor kialakuló depressziós felület kitüntetett szelvény síkjával alkotott metszete.

*Valós folyó:* természetben előforduló folyó annak összes tulajdonságával együtt.

*Valós leszívás:* folyó mentén víztermeléskor valóságban kialakuló depressziós felület adott pontján mérhető érték; speciális értéke ( $s_v [m]$ ) a kitüntetett szelvény valós partéllal alkotott metszéspontjában kerül meghatározásra.

*Valós (eredő) leszívási görbe:* folyó mentén víztermeléskor valóságban kialakuló depressziós felület kitüntetett szelvény síkjával alkotott metszete.

*Valós partél:* a valós folyó vízzel telített medrének part menti határvonala a valós és a sematikusan leképezett rendszerben; egyes kutatási módszereknél a vizsgált rendszer y koordináta-tengelye.

*Valós rendszer:* természetben előforduló rendszer, annak összes valós hidrogeológiai, hidraulikai és geometriai tulajdonságaival (Király 1994 nyomán).

*Védendő víztermelés:* a vízbázisról folyamatosan kitermelhető a mindenkori ismeretek és feltételek alapján meghatározható napi maximális, havi maximális és éves átlagos vízmennyiség, vízhozamban kifejezve (123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet nyomán).

*Vízbázis<sub>1</sub>:* vízkivételi művek által igénybevett, felszíni vagy felszín alatti – azonos vízkészlet-típushoz tartozó – térrész és az onnan kitermelhető vízkészlet a vízbeszerző létesítményekkel együtt (21/2002 (IV. 25.) KöViM rendelet).

*Vízbázis<sub>2</sub>:* vízkivételi művek által igénybe vett vagy arra kijelölt terület, illetőleg felszín alatti térrész és az onnan emberi fogyasztásra, illetve hasznosításra kitermelhető vízkészlet a meglévő vagy a tervezett vízbeszerző létesítményekkel együtt (1995. évi LVII törvény nyomán).

---

## ÖSSZEFOGLALÁS

A doktori dolgozat eredménye a parti szűrésű (PS) víztermelő rendszerek egységes hidraulikai kutatási megközelítésének kidolgozása. Ennek keretében meghatározásra kerültek:

- a PS víztermelés által a meder alatti vízádban előidézett hidraulikus depresszió mértéke, melynek jellemző adatai:
  - a termelőkút távolhatása a meder alatti vízádban,
  - a valós (terepen rögzített) partélnél jelentkező leszívás mértéke,
  - hidraulikus depressziós görbe egyenlete;
- az összetett hidraulikai számításokhoz szükséges másodlagos (hatékony; látszólagos) partélek helyzete a terepen rögzített valós partél eltolásával; az eltolás mértéke helyszíni mérési adatokon nyugvó számítások eredményei alapján kerül kifejezésre;
- a felszín alatti rendszer felszíni vízzel való kapcsolatának pontos mértéke;
- a folyóból, a mederanyagból és a háttérben lévő vízádból származó, különböző típusú vizek keveredési aránya a kitermelt vízben;
- a mederfenéken található vízközvetítő réteg szívárgáshidraulikai paramétere;
- a vízbeszívargást a felszín alá közvetítő aktív mederfelület nagysága a mesterségesen előidézett PS víztermelés időtartama alatt;
- a víztermeléssel érintett partoldalon a felszín közeli vízádban kialakuló hidraulikus depresszió mértékének pontosított számítási módszere.

A kutatási eredmények legfőbb tudományos jelentősége az a megközelítés, amely 1) egységes keretbe foglalja a korábban csak egyes paraméterek meghatározásaira szolgáló összefüggéseket és 2) bizonyos pontokon továbbfejleszti azokat. Ezáltal tudományosan megalapozott keretrendszert kínál a PS rendszerek egységes és összehasonlítható vizsgálatához.

A kutatás eredményei a gyakorlat számára közvetlenül hasznosíthatók:

- alapot nyújthatnak egy adott jövőbeni PS víztermelő telep megvalósíthatósági és üzemeltetési tervének elkészítéséhez;
- működő PS vízműtelepek esetén üzemelési esettervek készíthetők egy-egy kút termelésből való váratlan (szennyezés), vagy tervezett (karbantartás) kiválására, a szükséges vízmennyiség többi kútból, megfelelő arányban történő biztonságos pótlására.
- bemenő és kalibrációs adatként használhatók egy PS víztermelő rendszert vizsgáló 3D numerikus hidraulikai modellhez.

---

## ABSTRACT

The achievement of the PhD thesis is the development of a uniform hydraulic research as an approach for Riverbank filtration (RBF) systems. The followings were determined in the frame of it:

- the characteristic parameters of the hydraulic depression in the riverbed aquifer effected by the RBF water abstraction:
  - the distance of the zero drawdown of the pumped well in the riverbed aquifer,
  - the degree of the drawdown at the real coastline (observed on field);
  - the equation of the depression curve;
- the positions of the additional (effective, image) coastlines for the further complex hydraulic calculations on the bases of the distance originated by shifting the real coastline observed on field; the rates of the shifting distances are determined by the results of the calculations derived by field data;
- the exact rate of the contact of the subsurface system and the surface water;
- the mixing ratio of the different watertypes in the abstracted water, which are derived from the river, the riverbed aquifer and the background aquifer;
- the hydraulic parameter of the water-transmission layer of the riverbed ;
- the area of the active recharge zone of the riverbed during the induced RBF infiltration period;
- the precise method for calculating the degree of the hydraulic depression affected by pumping in the shallow aquifer at the riverside.

The main scientific consequence of the of the results is the uniform investigation approach, which 1) gives a frame of the different research methods worked out for the determination of special parameters and 2) improve them at certain points. By this it is offer a scientific-based frame system for the uniform and comparable hydraulic research of RBF systems.

The results of the investigation could be applied in the practice in direct way:

- they could be formed the basis of the accomplishment and operational plans of the planned RBF water resources fields;
- in the case of operating RBF waterworks operation scenarios could be made for wells lost for the water production in the way of unexpected (pollution), or planned (maintenance) cases;
- they could be applied as input or calibration data in the case of the 3D numerical hydraulic modeling of a RBF system.